



**Jorge Filipe Oliveira  
Cardoso**

**Linhas de montagem com produtos em fim de vida:  
como melhorar a sua eficiência**



**Jorge Filipe Oliveira  
Cardoso**

**Linhas de montagem com produtos em fim de  
vida: como melhorar a sua eficiência**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Prof. Doutora Ana Raquel Reis Couto Xambre, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha esposa que sempre acreditou e me apoiou ao longo de todo o percurso académico e profissional.

## **o júri**

presidente

**Professor Doutor Rui Jorge Ferreira Soares Borges Lopes**

Professor Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

**Professora Doutora Vera Lúcia Miguéis Oliveira e Silva**

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Professora Doutora Ana Raquel Reis Couto Xambre**

Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Aos meus pais e aos pais da minha esposa pelo carinho e apoio ao longo deste percurso.

À Prof. Doutora Ana Raquel Xambre pela sua total disponibilidade, paciência, pelas críticas construtivas e sugestões de melhoria e pela sua dedicação como orientadora.

À Bosch Security Systems pela oportunidade dada, em especial ao Eng.º Rui Fernandes pois, mais do que uma chefia, foi e é um mentor puro, que me tem ajudado a crescer profissionalmente e pessoalmente.

A todos os colaboradores da Bosch Security Systems que me ajudaram neste projeto.

**palavras-chave**

Sistemas de Produção; Linha de Montagem; Eficiência; Ciclo de Vida do Produto.

**resumo**

Para vencer num mercado tão dinâmico e por vezes incerto, torna-se imprescindível que as empresas sejam flexíveis e apresentem elevados níveis de resposta às flutuações, quer em termos de volume quer em termos de tipo de produtos. Isto vem demonstrar que a produção em massa, na indústria eletrónica, não se adequa para as empresas que pretendem ser única e exclusivamente eficientes. As organizações têm de ser ágeis e sustentáveis. É por isso essencial para as empresas diversificarem o seu portefólio de produtos e investir em sistemas produtivos altamente flexíveis e rapidamente adaptáveis. Para tornar a empresa mais eficiente é necessário que os recursos alocados a todos os processos na cadeia de valor estejam adequados à procura dos clientes. Esta ação ganha ainda mais importância nas linhas de montagem com produtos ou famílias de produtos que se encontram na fase de declínio do ciclo de vida. Este projeto, realizado na empresa Bosch Security Systems, vem mostrar como manter altos níveis de produtividade no fim de vida dos produtos.

**keywords**

Production Systems; Assembly line; Efficiency; Product Life Cycle.

**abstract**

To compete in a market so dynamic and sometimes so uncertain, it's necessary that the companies present flexibility and high levels of responsiveness to market fluctuations, either in terms of volume or type of products. This means that the mass production doesn't fit companies that work in technological field and want to be only efficient. Companies need to be agile and sustainable. It is essential for companies to diversify their products portfolio and invest on highly flexible production systems and quickly adaptable. To make a company efficient it is necessary to guarantee that the resources allocated to all processes in value stream are not underused, in other words, if the installed capacity suits costumers requirements. This action becomes even more important in assembly lines with products or family products that are in the decline stage of their life cycle. This project, developed in Bosch Security Systems, show how important is to maintain high levels of productivity in a global market, by also explaining a practical situation and analyzing possible organizational strategies to improve flexibility and efficiency.

# Índice

Capítulo I.....	1
1.1    Contexto.....	2
1.2    Descrição da empresa .....	3
Descrição do Grupo .....	3
Bosch Security Systems SA.....	4
Produtos .....	8
1.3    Enquadramento do projeto.....	11
1.4    Objetivos do projeto .....	12
1.5    Estrutura do relatório.....	12
Capítulo II .....	15
2.1    Tipo de Processo .....	16
2.2    Implantação fabril ( <i>Layout</i> ) .....	18
2.3    Linhas de Montagem.....	24
2.4    Balanceamento.....	29
2.5    RMS ( <i>Reconfigurable Manufacturing System</i> ) .....	32
Capítulo III .....	37
3.1    Enquadramento do caso de estudo .....	38
3.2    Processo produtivo .....	39
3.3    Escolha da linha de montagem para o projeto .....	43
3.4    Descrição geral da linha de montagem e seus produtos .....	44
3.5    Brainstorming.....	46
3.6    Estratégia a adotar .....	49
3.7    Levantamento e análise da informação .....	52
Capítulo IV .....	63
4.1    Conclusões gerais.....	64
4.2    Perspetivas de desenvolvimento futuro .....	65
Bibliografia .....	67



## Índice de figuras

Figura 1 - Resumo do percurso Bosch Ovar .....	6
Figura 2- Organigrama.....	7
Figura 3 - Exemplos de câmaras de vigilância .....	8
Figura 4 - Exemplo de produtos codificadores/descodificadores e iluminadores. ....	9
Figura 5 - Exemplos de produtos de comunicação .....	10
Figura 6-Exemplos de produtos de detetores e indicadores de incêndio.....	11
Figura 7 - Exemplo de fluxo de processo num layout orientado por processo (adaptado de Heizer, 2014).....	22
Figura 8 - Layout orientado por produto (adaptado de Stevenson, 2004) .....	24
Figura 9 - Diagrama de Precedências (adaptado de Becker e Scholl, 2004) .....	25
Figura 10 - Tipos de linha de montagem (adaptado de A. S. Simaria, 2006) .....	26
Figura 11 - Exemplo de uma linha de montagem (adaptado de A. S. Simaria, 2006) .....	27
Figura 12 - Exemplo de uma linha de montagem com layout em "U" (adaptado de A. S. Simaria, 2006).....	28
Figura 13 - Exemplo de uma linha de montagem com layout em "C" (adaptado de A. S. Simaria, 2006).....	29
Figura 14 - Exemplificação diferença entre previsão da procura e realidade (fonte: Koren, 2011) 33	
Figura 15 - Variação da procura vs. capacidade produtiva ao longo do ciclo de vida do produto (fonte: Abdi e Labib, 2016) .....	35
Figura 16 - Fluxo de materiais e de informação na Bosch Ovar .....	39
Figura 17 - Value Stream Map Pacemaker L02 .....	40
Figura 18- Exemplo de uma Heijunka Board .....	41
Figura 19 – Histórico de produção da linha de montagem L02 .....	43
Figura 20 - Previsão da procura da linha de montagem L02.....	44
Figura 21- Linha de montagem L02 .....	45
Figura 22 - Primeiro metaplan do workshop.....	46
Figura 23 - Análise da solução "Mover colaboradores entre linhas/processos" .....	47
Figura 24 - Análise da solução "Juntar produtos/linhas" .....	48
Figura 25 - Resultado final com todas as análises discutidas.....	48
Figura 26 - Previsão da procura da linha de montagem L06.....	51
Figura 27 - Capacidade necessária vs. horário de funcionamento disponível .....	56
Figura 28- Posto 12 da linha de montagem L02 (Teste final).....	57

Figura 29 - Postos 4 e 5 da linha de montagem L02 (Teste das placas processadoras).....	58
Figura 30 - Equipamento do posto "Teste da Placa Processadora" .....	59
Figura 31 - Layout futuro da linha de montagem L02.....	60

## **Índice de tabelas**

Tabela 1 - Seleção do Processo tendo em conta o Volume e Diversidade (adaptado de Heizer, 2014) .....	17
Tabela 2 - Tempos de ciclo dos postos da linha de montagem L02 (unidade de medida: segundos) .....	53
Tabela 3 - Postos gargalo por família .....	54
Tabela 4 - Total de tempo disponível para produção diária .....	55







---

# Capítulo I

---

## INTRODUÇÃO

### Conteúdo

Contexto

Descrição da empresa

Enquadramento do projeto

Objetivos do projeto

Estrutura do relatório

## 1.1 Contexto

Nos dias de hoje, a globalização permitiu ao cliente chegar a mercados que até então eram inatingíveis e assim aumentar o seu poder de negociação. É neste mercado aberto que qualquer empresa que pretende obter sucesso deverá ser competitiva. Entenda-se por competitiva uma empresa capaz de oferecer produtos/serviços com os requisitos funcionais exigidos pelo cliente, com qualidade e ao menor custo possível. (Chase e Aquilano, 1989)

Os clientes quando compram um produto estão dispostos a pagar por todas as atividades que acrescentaram valor ao produto, ou seja, todas as atividades que contribuíram para dar forma ao produto. Torna-se, assim, importante para uma organização eliminar o desperdício e criar valor, sendo aqui, que as ferramentas de melhoria contínua possuem um papel preponderante.

Por outro lado, segundo Helo (2004) fatores como, o ciclo de vida dos produtos ser cada vez mais curto, devido à evolução tecnológica, a maior customização de produtos, e a uma instabilidade da procura, obrigam as empresas a ser capazes de responder rapidamente às alterações da procura.

A empresa onde foi desenvolvido o projeto, a Bosch Security Systems em Ovar, já possui enraizadas as suas próprias ferramentas de eliminação de desperdício e a melhoria contínua faz parte dos valores de cada colaborador da organização. A empresa encontra-se numa fase de crescimento, em que começa a produzir para novas unidades de negócio e assim a aumentar o seu portfólio de produtos.

Como a empresa pretende crescer de uma forma sustentada, ou seja, introduzir novos projetos no chão de fábrica, mas de forma eficiente e tendo em conta os produtos atualmente já produzidos, torna-se um grande desafio libertar espaço e gerir o espaço existente, por forma a conseguir produzir os produtos que se encontram na fase de declínio e também os produtos que começam a iniciar a sua curva do ciclo de vida.

O projeto consistirá em desenvolver uma metodologia, ou conjunto de metodologias, que ajude uma entidade que atue numa área de negócio com uma grande variedade de produtos e com pouco volume de procura, a gerir a eficiência das suas linhas de montagem. Visto desta forma mais genérica essa lógica poderia ser ajustada à situação das linhas de montagem

de produtos na fase de declínio do ciclo de vida, uma vez que, também aí, é necessário acomodar cenários de baixo volume/grande variedade.

## **1.2 Descrição da empresa**

### **Descrição do Grupo**

A informação do grupo Bosch foi recolhida do site oficial do grupo, Robert Bosch GmbH (2015) e do livro publicado Robert Bosch GmbH (2011). O grupo nasceu a 15 de novembro de 1886 em Estugarda, na Alemanha, através da criação de uma pequena oficina de engenharia elétrica e de precisão por parte de Robert Bosch tendo, em 1897, Robert Bosch e o seu sócio Arnold Zähringer conseguido instalar com sucesso um dispositivo de ignição por magneto de baixa tensão. Essa oficina conseguiu, no início do século XX, alargar-se à indústria automóvel desenvolvendo sistemas de iluminação automóvel (1913), sistemas de injeção de *diesel* (1927) e de injeção a gasolina (1951). Em 1979, com a nova era digital, a Bosch integrou a ignição e a injeção de gasolina no sistema de gestão de motores. A Bosch reforça a sua principal característica de pioneira, através da criação de soluções técnicas como sistemas *diesel* de alta pressão de última geração “common rail”, sistema de anti bloqueio ABS e controlo eletrónico de estabilidade ESP, sendo este tipo de inovação o que transformou a Bosch em líder mundial em tecnologia automóvel. Mas a Bosch adaptou-se à evolução tecnológica e, em 2010, lança-se numa parceria com a Samsung para a produção de baterias de lítio para veículos elétricos e desde 2011 fornece sistemas de tração elétrica para bicicletas.

Em 1926 deu-se uma grave crise na indústria automóvel europeia o que mostrou o nível de exposição da Bosch às flutuações dessa indústria. Posto isto, o grupo decidiu diversificar a sua atividade económica estendendo-se a outras áreas de negócio. A estratégia usada foi a aquisição de outras empresas. Em 1932, adquire a Junkers que fornecia sistemas de aquecimento a gás e sistemas de água quente, a Blaupunkt, em 1933, fabricante de rádios e a Bauer, em 1934, fabricante de projetores de cinema. Ainda no decorrer do ano de 1932 é feita a apresentação do novo martelo perfurador elétrico obtendo um novo sucesso no ramo industrial. Em 1933 a Bosch inicia a produção do frigorífico elétrico para utilização doméstica seguindo-se em 1952 a criação do “robot” de cozinha. Em 1963 a Bosch adquire a Erich Wetzl Verpackungsmaschinen, entrando assim no negócio de máquinas de



embalagem. Em 2001 a Bosch assume o controlo da Rexroth AG, reforçando o grupo Bosch, sendo esta unidade, atualmente, responsável por dez por cento das vendas do grupo. Em 2003 adquire a Buderus AG alargando o seu portfólio de marcas na divisão de tecnologias de aquecimento. Em 2007 adquire a Health Hero Network da Califórnia, o que marca um regresso à unidade de negócio de saúde uma vez que já antes forneceu alguns equipamentos médicos para hospitais e consultórios médicos. O ano de 2008 fica marcado pela aquisição da Innovations Software Technology por parte da Bosch, tornando-se um fornecedor de *software* de serviços, mais especializado em *software* de serviços financeiros e de seguros.

Para além das unidades de negócios já referidas, a Bosch possui uma forte presença no mercado de ferramentas elétricas industriais e domésticas. No que toca à unidade de negócio onde se insere a Bosch Security Systems de Ovar, nasceu de uma parceria vinda desde 1920 com a Hanseatische Notruf AG, que se tornou uma aquisição apenas em 2002. Esta parceria permitiu à Bosch desenvolver um *know-how* tecnológico ao longo de décadas. Esta jovem divisão é responsável por fornecer uma vasta gama de produtos, desde sistemas de videovigilância, vídeo por IP, análise inteligente de vídeo, vídeo para uso em condições extremas até sistemas de áudio profissionais.

A ambição de se tornar um parceiro de todos e melhorar a qualidade de vida com soluções inovadoras e benéficas tornam a empresa líder mundial em tecnologia de ponta e serviços. Para suportar a existência de todas estas unidades de negócio a Bosch conta com 370 mil funcionários que geraram no ano fiscal de 2015, 71 biliões de euros de vendas. Estando presente em todo o mundo (150 países), a Bosch aposta na inovação tendo 45,700 mil colaboradores na área de investigação e desenvolvimento de novas soluções, desde 2009 até 2014 foram gastos 20 biliões de euros nesta área, o que permite atingir a uma média de 20 patentes registadas por dia.

### **Bosch Security Systems SA**

A Bosch Security Systems SA, nasceu em Ovar com a aquisição da fábrica ao Grupo Philips, a 27 de outubro de 2002, fábrica essa que produzia monitores e câmaras para sistemas de observação. A fábrica de Ovar pertence à divisão de Security Systems, que centra a sua área de atuação na comercialização de produtos e sistemas integrados de segurança, assim como soluções de serviços. O portfólio de produtos passa pela proteção de edifícios, vida das

pessoas, infraestruturas e bens de valor, sistemas de comunicação de voz, som e música. Esta unidade trabalha com projetos complexos (e.g. sistema de vigilância da central petrolífera da Petronas na Malásia), sistemas de vigilância de média complexidade (e.g. aeroporto de Xi'an Xianyang na China) e sistemas *ready-to-use* através de parceiros distribuidores.

A unidade de Sistemas de Segurança possui cinco unidades produtivas (México, Estados Unidos da América, China, Alemanha e Portugal) com uma força laboral de 13024 colaboradores (dados de janeiro de 2016) tendo efetuado um volume de vendas, no ano fiscal de 2015 de 1699 milhões de euros.

A Bosch de Ovar atualmente ocupa 12000m<sup>2</sup>, possui cerca de 500 colaboradores e produz para 3 centros de distribuição (1 no continente americano, 1 no continente europeu e 1 no continente asiático) com base numa previsão de vendas mensal. A empresa produz para quatro unidades de negócio: “Video Systems”, “Communications”, “Termotecnologia” e “Sistemas de Detecção de Incêndio”. Tem um vasto portefólio de produtos, sendo eles: sistemas de vídeo, câmaras de vigilância, gravadores de vídeo, dispositivos com tecnologia IP (*Internet Protocol*), sistemas de vigilância para ambientes extremamente adversos, sistemas de comunicação, sistema de conferência, sensores de deteção de fumo, é ainda fornecedor de PCBA (*Print Circuit Boards Assembly*) e componentes para sistemas de aquecimento para clientes pertencentes ao grupo Bosch. Isto permitiu à organização gerar um volume de vendas, em 2015, de 78 milhões de euros.

Na Figura 1 - Resumo do percurso Bosch Ovar é possível visualizar um resumo das várias etapas do percurso da fábrica de Ovar, desde a sua criação, em 1992, por parte da Phillips até aos dias de hoje.



*Figura 1 - Resumo do percurso Bosch Ovar*

É importante realçar que, no mês de outubro de 2016, a Bosch Ovar foi reconhecida como “Finalista” do Prémio Europeu de Excelência, tornando-se a primeira empresa do grupo no ramo não-automóvel, a ser distinguida com este prémio.

De seguida a Figura 2 apresenta a estrutura hierárquica da organização onde é possível observar que a mesma se encontra bem definida, por forma a garantir um funcionamento eficiente da organização.

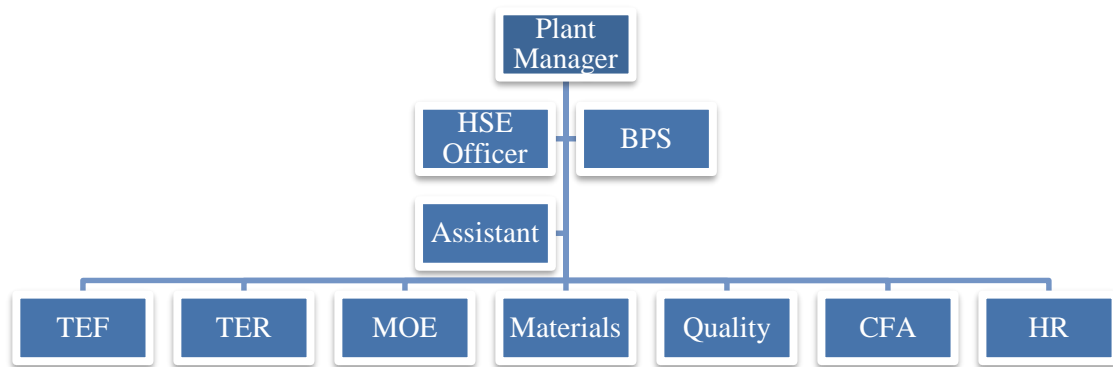


Figura 2- Organograma

Por forma a clarificar melhor essa estrutura, explica-se, de seguida, cada um dos departamentos/funções:

*HSE (Health Safety Environment) Officer*: responsável pela averiguação, correção e implementação de todos os aspetos relacionados com a segurança dos postos de trabalho, higiene e condições ambientais, assim como tratar todos os assuntos relacionados com as respetivas certificações.

*BPS (Bosch Production System)*: responsável pela implementação dos conceitos BPS quer na área produtiva quer na área indireta.

*TEF (Technical Engineering Functions)*: este departamento é composto por diversas áreas, sendo elas manutenção, tecnologias de informação, infraestruturas, engenharia mecânica, engenharia eletrónica e gestão de novos projetos.

*MOE (Manufacturing Organisation and Engineering)*: este departamento é composto por *Value Stream Managers* responsáveis por gerir todo a cadeia de valor, engenheiros industriais responsáveis pelas instruções de produção, pelos processos logísticos, e responsáveis pela industrialização de novos produtos; chefes de linha e colaboradores afetos às linhas de montagem.

*Quality*: este departamento tem como principais funções estabelecer métodos que garantam a qualidade dos produtos, implementação do sistema da qualidade e metrologia.

*Materials*: todas as funções associadas à logística, planeamento e compras inserem-se neste departamento.

*CFA (Controlling Financial Account)*: todas as questões de cariz financeiro e contabilístico são tratadas por este departamento.

*HR (Human resources)*: departamento de recursos humanos, responsável pelo recrutamento, seleção e integração de novos colaboradores ou estagiários.

## **Produtos**

O negócio que caracteriza esta unidade produtiva é, alta diversidade-baixo volume, sendo esta situação comprovada pelos números: 624 produtos finais, pertencentes a 88 famílias de produtos e 6150 componentes de matéria-prima. Estima-se que estes sejam maiores no final de 2016 com o ganho de novos projetos, que permitirão chegar a outras unidades de negócio do grupo, o que obrigará a uma expansão da área fabril até os 18000m<sup>2</sup> até ao final de 2017.

No que toca a sistemas de vigilância a Bosch Ovar produz câmaras, quer analógicas quer com a tecnologia IP, para ambientes controlados ou para ambientes extremos (exemplo de condições atmosféricas adversas ou anti-vandalismo), câmaras com infravermelhos e câmaras térmicas. No conjunto de imagens a seguir (Figura 3) encontram-se alguns exemplos de câmaras de videovigilância Bosch.



*Figura 3 - Exemplos de câmaras de vigilância*

São vendidos separadamente ainda os codificadores, decodificadores de sinal (normalmente usados como acessórios nos sistemas de vigilância) e iluminadores (usados essencialmente para ambientes noturnos em que é necessária uma fonte de iluminação artificial (Figura 4).



*Figura 4 - Exemplo de produtos codificadores/decodificadores e iluminadores.*

Na Figura 5 podemos ver os produtos da área de comunicação. Estes produtos são normalmente utilizados em conferências e em congressos. Exemplo disso é o sistema usado pelo Estado Português para as audições parlamentares.



Figura 5 - Exemplos de produtos de comunicação

Para além destes produtos, a fábrica de Ovar, como centro de competências na área de PCBA e de blocos óticos, realiza montagens para outras empresas do grupo. Mais recentemente foram introduzidos dois novos produtos ao já vasto portfólio, especificamente indicadores externos e detetores de incêndio exemplificados na Figura 6.



*Figura 6-Exemplos de produtos de detetores e indicadores de incêndio*

### **1.3 Enquadramento do projeto**

A Bosch Ovar é, neste momento, uma empresa que possui enraizados os conceitos de melhoria contínua através dos princípios do Bosch Production System. A melhoria contínua, aliada com os processos flexíveis, têm permitido à empresa crescer de forma sustentada. A estratégia adotada é diversificar o portfólio de produtos e, deste modo, estão a ser ganhos novos projetos e mais negócios. Por outro lado, é de extrema importância não deixar de responder aos pedidos de clientes já efetivos. Diversificar o portfólio de produtos coloca um enorme desafio às cadeias de valor, obrigando a novas formas de trabalhar, novas tecnologias de processo, diferentes requisitos por parte dos clientes e, adicionalmente, conseguir mudar o *mindset* dos associados.

Na industrialização de novos produtos são sempre tidos em conta a matéria-prima, processos e tecnologias que já são usadas, para que seja possível utilizar linhas de montagem já instaladas no chão de fábrica. Quando tal não é possível é necessário criar uma nova linha, porém, sendo o espaço uma limitação, é de extrema importância libertar espaço na área produtiva para que se possam criar novas linhas de montagem para produtos que iniciam o seu ciclo de vida.

Torna-se importante perceber se o tamanho das linhas atuais se adequa às reais necessidades para responder à procura do cliente. Atualmente a Bosch Ovar possui 27 linhas de produção, sendo que 6 delas possuem produtos que se encontram na fase de declínio do ciclo de vida do produto.



A empresa depara-se, porém, com um desafio no que toca à gestão da eficiência das linhas de montagem que possuem produtos em relação aos quais já foi anunciado o respetivo fim de vida. Uma das consequências diretas da entrada de produtos no fim do ciclo de vida é a redução gradual da sua procura. Esta situação coloca em causa a manutenção de linhas dedicadas à montagem desses produtos uma vez que os recursos aí utilizados (espaço, máquinas e equipamentos) poderiam ser mais rentabilizados se alocados a produtos em fase de crescimento ou maturidade, em termos de ciclo de vida.

#### **1.4 Objetivos do projeto**

O projeto tem com principal objetivo mostrar a importância que a gestão da eficiência das linhas de montagem com produtos em fim de vida tem nas organizações. Numa empresa que produz uma grande variedade de produtos e com um volume de procura baixa, torna-se um grande desafio gerir o fim de vida de uma família de produtos pois, ao contrário de indústrias de grande volume, como por exemplo a indústria automóvel, não é possível simplesmente “desligar” linhas automáticas quando o produto é descontinuado.

É, portanto, essencial definir uma abordagem diferente, pois torna-se impensável manter linhas de montagem inalteradas indefinidamente à espera do seu último dia de produção.

Na pesquisa e escolha do conjunto de metodologias existem fatores de extrema importância a ter em conta, tais como a previsão da procura da família de produtos, que equipamentos são alocados e são específicos desses produtos, em que linhas de montagem eles ganham forma, qual a quantidade de recursos necessários para responder à procura do cliente, tipos de processos e a definição do momento adequado para aplicar essa metodologia e reajustar o sistema produtivo.

Será apresentado um quadro resumo com algumas metodologias a aplicar em linhas de montagem com produtos de fim de vida sempre com o intuito de melhorar a sua eficiência. Para além das metodologias, é apresentada a aplicação num caso prático da organização onde se realizou o projeto por forma a evidenciar as vantagens dessa metodologia.

#### **1.5 Estrutura do relatório**

O relatório é estruturado em quatro capítulos principais. O presente capítulo inicia com uma breve introdução para contextualizar este projeto e indica qual o objetivo do mesmo. É

seguido de uma apresentação geral do grupo em que se insere a empresa bem como da mesma. São depois apresentados os objetivos do projeto.

No capítulo dois é realizado um enquadramento teórico dos temas com relevo significativo para a elaboração deste relatório e que serviram de apoio às tarefas no caso prático. Os temas abordados foram: tipos de processo, *layouts*, linhas de montagem, balanceamento das linhas de montagem e *Reconfigurable Manufacturing System*.

No capítulo três está descrito o caso de estudo e inicia com um pequeno enquadramento do mesmo para que seja possível melhor compreender a necessidade deste estudo. Depois é explicado o processo produtivo da organização bem como a linha de montagem utilizada como estudo neste projeto. É apresentado o resultado de um *brainstorming* realizado na empresa com os principais atores com um papel importante na cadeia de valor. Foi um importante passo para a tomada de decisão de qual a estratégia a ser adotada na linha de montagem em estudo e é neste capítulo explicada essa decisão. Por fim, são apresentados todos os dados utilizados, as respetivas análises e os resultados do projeto.

No quarto e último capítulo são apresentadas as conclusões gerais do relatório bem como aspetos que deverão ser alvo de estudos e trabalhos futuros.







---

# Capítulo II

---

## ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### Conteúdo

Tipos de processo

Implantação fabril (*Layout*)

Linhas de Montagem

Balanceamento

RMS (*Reconfigurable Manufacturing System*)

## 2.1 Tipo de Processo

Neste capítulo será abordada toda a matéria teórica que serviu de base para o desenvolvimento do projeto servindo assim de enquadramento ao mesmo, e facilitando o seu entendimento. Assim, serão explicados os principais tipos sistemas de produção existentes, o que são linhas de montagem, que tipos de linhas existem, que obstáculos surgem na conceção das mesmas e, finalmente, que tipos de linhas de montagem melhor se adequam para produtos em fim de vida.

Todas as organizações necessitam tomar decisões estratégicas ao longo da sua existência que vão ditar o nível de competitividade e sustentabilidade da mesma. Uma das decisões mais importantes prende-se com a definição do tipo de processo a utilizar e sua disposição (*layout*). Sendo que os processos são atividades que convertem matérias-primas em produtos/serviços finais, é de extrema importância definir como estes serão organizados. Segundo Stevenson (2004) existem três tópicos essenciais que devem ser tidos em conta na decisão sobre qual o tipo de processo a adotar:

- Qual a diversidade de produtos/serviços que o sistema terá de acomodar?
- Qual o grau de flexibilidade que a organização pretende?
- Qual o valor esperado do volume (quantidades) a produzir?

De seguida serão apresentados os cinco tipos básicos de processos, segundo Stevenson (2004):

**Produção unitária:** Aplica-se quando as quantidades são bastante reduzidas e o cliente procura uma grande diversidade de produtos/serviços. É exigido portanto um grande nível de flexibilidade quer em termos de equipamentos quer em termos de especialização dos colaboradores.

**Produção em lotes:** As quantidades exigidas já são um pouco superiores e a diversidade é moderada, comparativamente com a produção unitária. O nível de flexibilidade já não é tão exigente o que permite não investir tanto em equipamentos flexíveis e nas capacidades dos colaboradores, apostando mais nas suas polivalências.

**Produção Repetitiva:** Quando os volumes de produtos ou serviços não são tão específicos como na produção unitária, são usados processos repetitivos. Como os produtos não são personalizados é necessária apenas alguma flexibilidade e não exige polivalência dos colaboradores.

**Produção Contínua:** Aplica-se para produtos que possuem grandes níveis de procura e a diversidade é quase nula. Por esse motivo não é necessário investir em equipamentos flexíveis, e a formação dos colaboradores pode variar consoante o tipo de equipamento que operam.

**Produção por Projeto:** Este tipo de produção distingue-se de todas as outras, uma vez que acontece de forma única e com os seus objetivos específicos a serem cumpridos num determinado período de tempo. As competências dos seus colaboradores poderão variar entre baixas ou bastante altas.

Este último tipo de produção não é identificado por todos os autores. Heizer (2014) sugere a utilização da seguinte tabela para selecionar qual o melhor processo a utilizar nas organizações tendo em conta duas importantes variáveis: volume de produção esperado e a diversidade dos produtos/serviços.

*Tabela 1 - Seleção do Processo tendo em conta o Volume e Diversidade (adaptado de Heizer, 2014)*

Diversidade	Volume			
		Pouco Volume	Processo Repetitivos	Alto Volume
	Alta Diversidade	Produção Unitária		Customização em Massa
	Alterações nos Módulos		Produção Repetitiva	
	Alterações nos Atributos			Produção Contínua

Analisando a Tabela 1 podemos observar que, para negócios com pouco volume a alta diversidade, as organizações devem estar orientadas ao processo, quer em termos de equipamento quer em termos do *layout*. Cada processo é desenhado para desempenhar variadas tarefas e ser capaz de realizar constantes alterações, por esse motivo o nível de flexibilidade dos equipamentos terá de ser bastante elevado.



Se o volume da procura do cliente é moderada e apenas procura pequenas diferenças no modelo devemos aplicar a Produção Repetitiva. Esta produção consiste na produção de módulos, que podem ser aplicados a diferentes produtos. Para melhor explicar podemos utilizar o exemplo da produção de motos Harley-Davidson, em que existem vários motores, vários tamanhos de rodas, vários tamanhos do guiador, sendo que as múltiplas combinações destes módulos dão origem a diferentes produtos. (Heizer, 2014) Aqui é possível utilizar processos repetitivos, um processo para produzir os motores, outro processo para as rodas e etc., sendo depois todos os módulos montados na linha final.

A Customização em Massa aplica-se quando existe um grande volume de procura, mas também quando a procura é bastante diversa. Aqui o objetivo não é apenas atender ao que o cliente deseja, mas estar preparado para a constante alteração de requisitos. O importante é ser ágil para que seja possível não apenas responder às variações da procura, mas entregar exatamente o que o cliente deseja e quando o deseja.

Produção Contínua foca-se na produção baseada no produto, ou seja, os processos são definidos com base no tipo de produto. Alguns exemplos incluem a produção de papel ou cerveja, em que a produção dos mesmos é contínua para otimizar a utilização de equipamentos. (Heizer, 2014) Inerente a esta produção contínua surge uma estabilidade nos padrões de qualidade que qualquer outro tipo de produção tem dificuldades em atingir.

## **2.2 Implantação fabril (*Layout*)**

Como o projeto em questão envolveu a alteração do *layout* de uma linha de montagem é de extrema importância perceber o conceito e quais os tipos de *layout* existentes. Segundo Stevenson (2004) *layout* refere-se à configuração da disposição de departamentos, linhas de montagem e equipamentos com especial atenção nos movimentos dos colaboradores e/ou materiais ao longo de todo o sistema.

As decisões tomadas na conceção do *layout*, que irá definir como o sistema trabalha, são de extrema importância pois envolvem investimentos avultados (quer em termos monetários quer em termos de esforço: recursos e tempo) logo, por este motivo, a margem para erros é muito reduzida sendo que, adicionalmente, têm um impacto significativo nos custos e na eficiência das operações da empresa. (Stevenson, 2004)

Os aspetos importantes a ter em conta, segundo Stevenson (2004), na conceção do *layout* são os seguintes

- Melhorar a utilização do espaço, equipamento e pessoas;
- Melhorar os fluxos de informação, materiais e pessoas;
- Aumento da moral dos colaboradores e criar condições seguras de trabalho;
- Flexibilidade (como as variáveis não são inalteráveis, o *layout* que cumpre os requisitos hoje, num futuro já poderá não cumprir);
- Melhorar a visualização de todo o processo.

Devido à redução da duração dos ciclos de vida do produto, a definição do *layout* deve ser vista, cada vez mais, como sendo dinâmica. Para ser possível produzir num mundo cada vez mais customizado é necessário mudar cada vez mais e de forma mais rápida, garantindo a eficiência dos processos, sendo para tal necessário flexibilizar a forma como as estações de trabalhos estão dispostas e como os equipamentos são desenvolvidos. Para obter esta flexibilidade no chão de fábrica os gestores devem formar os seus colaboradores, realizar a manutenção dos seus equipamentos, fazer, se necessário, alguns pequenos investimentos, colocar as estações de trabalho juntas e usar equipamentos pequenos e amovíveis (por exemplo com rodas). (Heizer, 2014)

A necessidade de desenvolver um novo projeto de *layout* pode surgir quando a organização se encontra a criar um sistema ou quando pretende redesenhar o sistema atual. As razões que poderão levar as organizações a optarem por alterar os seus *layouts* incluem: ineficiências nos seus processos, alterações nos *designs* dos seus produtos, introdução de novos produtos, alterações de quantidades procuradas pelo cliente, renovação de tecnologias de fabrico, alterações de requisitos legais e/ou ambientais ou até, simplesmente, para tornar o processo mais transparente. (Stevenson, 2004)

Segundo Heizer (2014) existem essencialmente quatro tipos de *layouts*:

- *Layout* por posição fixa;
- *Layout* orientado ao processo;
- *Layout* celular;

- *Layout* orientado ao produto.

Antes de proceder à explicação de cada um dos tipos de *layout* é importante referir que nenhum deles será o *layout* ideal para todas as situações, no entanto, um deles será o que melhor se adequa à organização e, no momento de decisão, é importante determinar as variáveis críticas (como capacidade necessária, qual o nível tecnológico dos equipamentos a usar para produzir/manusear os materiais, etc.). (Heizer, 2014)

### **Layout por posição fixa**

Neste tipo de *layout* o objeto/projeto a ser desenvolvido mantém-se num único lugar e todos recursos, como equipamentos e pessoas movimentam-se nesta área. Na grande maioria da implementação destes *layouts* um grande constrangimento é o espaço necessário para a sua implementação, isto porque, à medida que o produto/projeto ganha forma, aumenta a sua dimensão assim como a dificuldade em manuseá-lo. Um bom exemplo deste tipo de *layout* é a construção de navios.

### **Layout de orientação ao processo**

Este *layout* é muito usado no chão de fábrica por organizações que adotam a estratégia de diferenciação de produto, produtos com pouco volume, mas grande diversidade. Cada produto ou pequenos lotes de produtos percorrem diferentes sequências de operações, ou seja, percorrem diferentes departamentos/secções segundo uma sequência lógica necessária para a sua correta produção.

Segundo Stevenson (2004) este é um processo intermitente, pois não se trata de um movimento contínuo de produção. Por vezes os produtos necessitam ser movimentados entre os diferentes departamentos/estádios da sequência de montagem, podendo ainda existir momentos de espera.

Uma vez que os equipamentos são implementados por tipo, ou invés de serem colocados de acordo com uma sequência produtiva, o sistema de produção é muito menos vulnerável a ineficiências devido a avarias das máquinas e absentismos. Os custos de manutenção tendem a ser menores comparativamente com outros tipos de *layout* uma vez que os equipamentos

não são específicos para determinados produtos e os operadores como só utilizam estes equipamentos acabam por se tornar especializados.

O lado negativo deste tipo de *layout* são os desperdícios que resultam da necessidade de se realizarem várias movimentações para se poder produzir. Adicionalmente, exige que o planeamento da produção seja muito bem coordenado e atualizado constantemente. Também leva a custos elevados com inventário de produtos semiacabados durante o transporte ou lotes em espera para serem processados num determinado departamento.

De seguida é apresentado um exemplo na área de serviços que ajuda a exemplificar como poderá ser o fluxo de matérias, neste caso de pacientes, num *layout* orientado para os processos (Figura 7). Como é possível observar diferentes pacientes podem ter diferentes etapas desde que chegam a um hospital até que saem. Por exemplo o Paciente A chegou ao hospital e na sala de admissões urgentes foi identificado como tendo uma perna partida e, como consequência, foi encaminhado para a sala de triagem para melhor identificar o tipo de lesão. Após a sua identificação foi efetuar um exame à Radiologia e encaminhado posteriormente para a cirurgia. Após receber alta por parte do médico, deixa a sala de internamento passa pela farmácia para levantar a respetiva medicação e no balcão de atendimento efetua o pagamento de valores em dívida. O Paciente B teria outro diagnóstico e, consequentemente, outro percurso dentro do hospital.

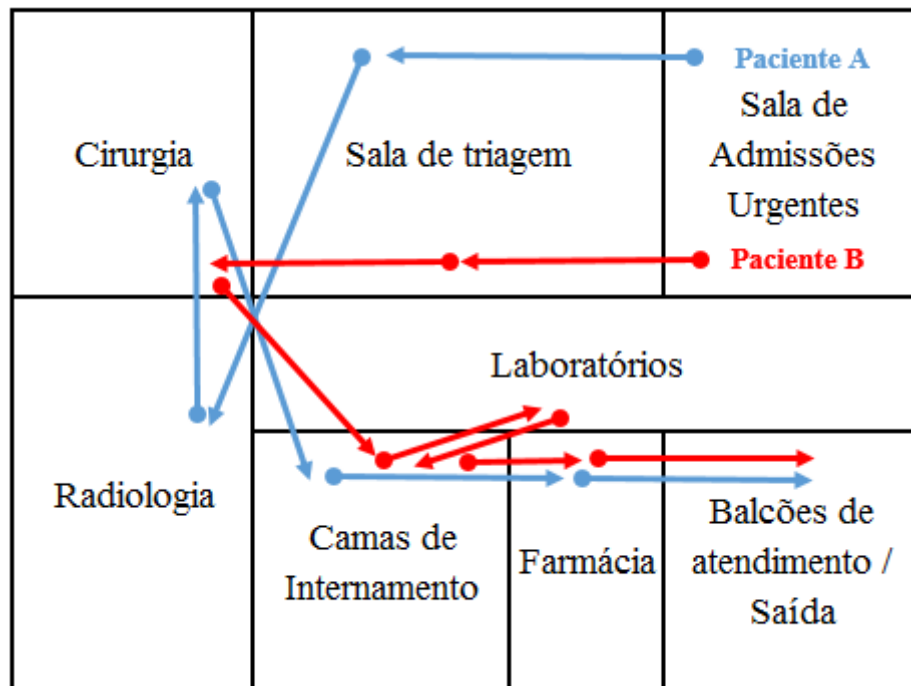


Figura 7 - Exemplo de fluxo de processo num layout orientado por processo (adaptado de Heizer, 2014)

Para as organizações que operem no ramo industrial e que adotem um *layout* orientado por processo a lógica será a mesma, mas ao invés de salas de triagem ou de radiologia, poderão ter seções de maquinação, pintura ou de embalagem.

### Layout Celular

Celular é o tipo de *layout* onde as estações de trabalho são agrupadas em células, isto é, um espaço com equipamentos que são usados para trabalhar em produtos similares ou famílias de produtos e que requerem os mesmos processos. Segundo Heizer (2014) existem sete principais vantagens na aplicação deste tipo de *layout*:

- Redução do stock intermédio, uma vez que as estações de trabalho estão juntas ou muito próximas uma das outras, o que permite trabalhar peça a peça ao invés de criar lotes entre diferentes postos;
- Menos espaço ocupado no chão de fábrica pois, se o *stock* intermédio é reduzido, é reduzido o espaço necessário para acomodá-lo;

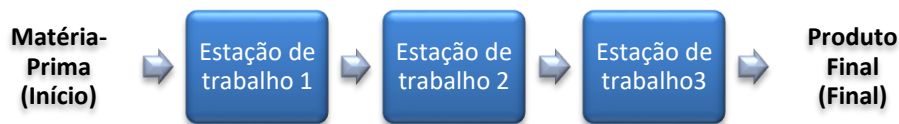
- Redução das quantidades de matérias-primas e produto acabado, uma vez que quanto mais perto estão os postos/processos uns dos outros, mais rápida é a produção e maior será a rapidez de movimentação de matérias;
- Redução dos custos de produção pois, quanto mais perto estão os processos uns dos outros, maior será a comunicação, aumentando o tempo de resposta a desvios, melhorando ainda a movimentação dos materiais e o cumprimento do planeamento;
- Maior motivação para todos os colaboradores pois sentem-se unidos e com a percepção de que o seu trabalho contribui para criar valor e para a qualidade do produto;
- Aumenta a eficiência dos equipamentos e máquinas utilizadas para produzir, uma vez que existe uma maior rapidez de produção;
- Reduz o número de investimento necessário uma vez que os equipamentos e máquinas são usadas para produzir diversos produtos.

Segundo Stevenson (2004) as famílias de produto a afetar a cada célula formam-se tendo em conta as características de *design* ou características de produção. Entenda-se por características de *design* aspetos como o tamanho, forma e função das peças a serem produzidas e como características de produção, o tipo e sequência de operações. Por norma as características de *design* e de produção estão correlacionadas.

### **Layout Orientado por Produto**

Este tipo de *layout* é direcionado para sistemas que pretendam uma produção contínua e rápida dos respetivos produtos. Estes *layouts* são organizados em torno de produtos ou famílias de produtos com grande volume de procura e pouca diversidade. Como consequência os processos são altamente padronizados e a divisão de operações é tal que torna possível criar processos repetitivos e rápidos. Por norma os investimentos em equipamentos muito específicos são facilmente justificáveis devido ao grande volume de produção. Existem dois tipos de *layout* orientado por produto, sendo eles as linhas de fabricação e as linhas de montagem, sendo que a primeira se refere à construção de componentes numa série de máquinas enquanto as linhas de montagem se refere à montagem de componentes numa sequência de estações com tarefas repetitivas. (Heizer, 2014).

Na Figura 8 podemos observar um exemplo de um fluxo simples de produção em que o produto segue de estação em estação de forma sequencial até ser finalizado. Em cada estação de trabalho são executadas tarefas que acrescentam valor ao produto até este atingir a sua forma final.



*Figura 8 - Layout orientado por produto (adaptado de Stevenson, 2004)*

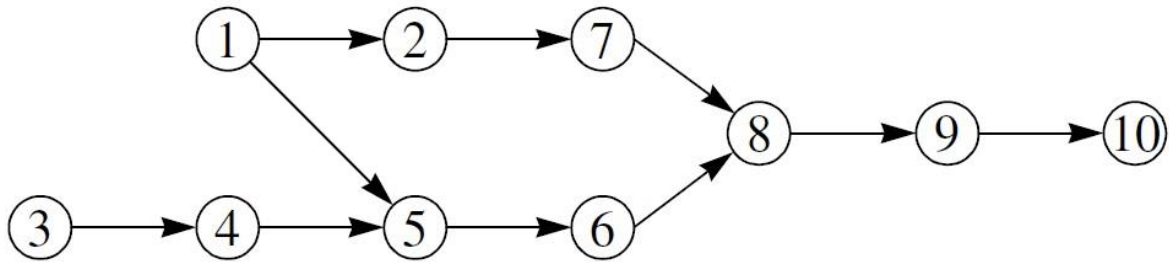
### 2.3 Linhas de Montagem

A evolução constante da tecnologia leva a que, cada vez mais, os ciclos de vida dos produtos sejam curtos e a procura de produtos customizados aumente drasticamente, obrigando as organizações a aumentar o seu portfólio de produtos. Aliado a estes fatores os clientes são cada vez mais exigentes uma vez que exigem que o seu produto seja entregue no menor tempo possível e na qualidade esperada. Torna-se essencial construir sistemas flexíveis que possam produzir diferentes tipos de produtos num curto espaço de tempo, mas sem aumentar significativamente os custos associados. É por esta razão que as organizações usam diferentes configurações de linhas de montagem que lhes permitem produzir os diferentes modelos dos seus portfólios de produtos. (A. S. Simaria, 2009)

Uma linha de montagem consiste num sistema de produção que apresenta uma configuração sequencial de estações de trabalho, interligadas por um sistema de transporte de materiais (normalmente são tapetes mecânicos ou transporte manual por parte do operador). Produzir um produto numa linha de montagem requer dividir o trabalho total necessário para dar forma ao produto, em operações elementares chamadas de tarefas. Em cada estação de trabalho são então executadas uma série de tarefas usando um método de montagem pré-definido. (A. S. Simaria, 2006)

Quando o método é definido, é também definido o tempo de processamento das respetivas tarefas e as restrições de precedência que são fatores, como questões tecnológicas

e organizacionais, que vão ditar a sequência de tarefas a ser realizadas. (A. S. Simaria, 2009) Na Figura 9 é possível analisar um exemplo de um diagrama de precedências, onde cada nodo representa uma tarefa e as setas indicam as respectivas precedências. Por exemplo podemos verificar que a tarefa 8 só pode ser realizada depois de terminadas as tarefas 7 e 6.



*Figura 9 - Diagrama de Precedências (adaptado de Becker e Scholl, 2004)*

Segundo Becker e Scholl (2004) uma linha de montagem consiste num conjunto de estações de trabalho dispostas ao longo de um tapete rolante ou de um sistema mecânico de transporte de peças. As sub-montagens vão percorrendo a linha, de estação em estação de trabalho, onde são executadas certas tarefas de forma repetitiva tendo em conta o tempo de ciclo. Entenda-se por tempo de ciclo como a quantidade de tempo necessário para completar todas as tarefas atribuídas à estação de trabalho.

Nas linhas de montagem síncronas, a sub-montagem chega à estação de trabalho seguinte após completar as tarefas da estação de trabalho precedente e após o respetivo tempo de ciclo. O tempo de ciclo determina assim a capacidade da linha de montagem. Uma vez que as tarefas são indivisíveis, o tempo de ciclo nunca poderá ser inferior ao tempo máximo de execução das tarefas. À diferença entre o tempo de ciclo da linha e total de tempo necessário para completar as tarefas de um determinado posto, denomina-se tempos de espera. (A. S. Simaria, 2006)

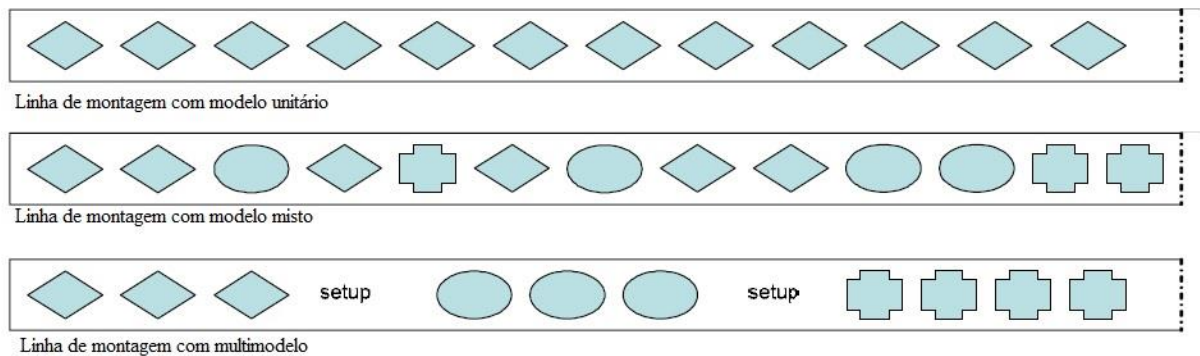
Nas linhas de montagem assíncronas não existem tempos fixos atribuídos a cada estação de trabalho para completarem as suas tarefas. Todos os postos de trabalho possuem a sua própria velocidade de execução o que, por norma, origina tempos de espera entre as estações de trabalho. Para colmatar este constrangimento e evitar a disrupção do fluxo produtivo, são introduzidos inventários a montante de cada posto de trabalho. (A. S. Simaria, 2006)



Um dos fatores importantes na definição da estrutura da linha de montagem é o número de produtos diferentes a serem produzidos, dividindo-se assim os tipos de situações, essencialmente em três:

- Modelo unitário, em que a linha de montagem produz de forma homogénea um único tipo de produto;
- Modelo misto, em que a linha de montagem produz unidades similares simultaneamente e numa sequência arbitrariamente alternada;
- Multimodelo, em que a linha de montagem produz em lotes unidades similares com *setups* intermédios.

Na Figura 10 podemos observar os diferentes tipos de linhas de montagem, onde as diferentes figuras geométricas representam diferentes produtos.



*Figura 10 - Tipos de linha de montagem (adaptado de A. S. Simaria, 2006)*

Tradicionalmente os postos de uma linha de montagem são dispostos sequencialmente em linha, ou seja, de como se uma linha reta se tratasse. Este tipo de disposição é utilizado nas linhas de montagem com modelo unitário uma vez que se adequam para produção em massa. Grandes níveis de produtividade são atingidos quando é produzido apenas um produto e em grandes quantidades, isto porque é possível a divisão e especialização do trabalho pelos operadores.

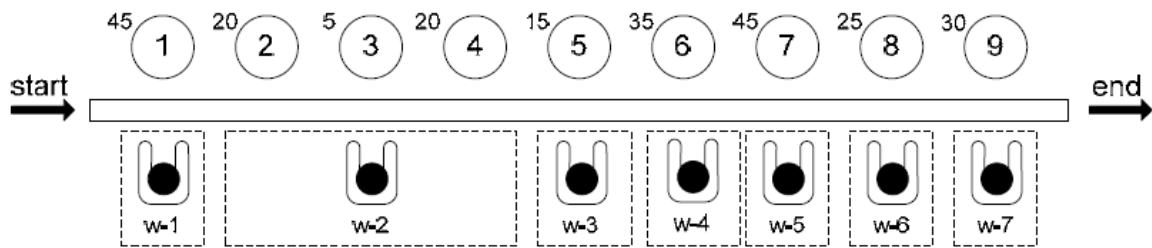


Figura 11 - Exemplo de uma linha de montagem (adaptado de A. S. Simaria, 2006)

Na Figura 11 é possível verificar que a linha está disposta ao longo de uma linha reta, em que os círculos numerados correspondem ao número da estação de trabalho, os bonecos, também eles numerados, correspondem aos números de operador. No exemplo em questão é possível verificar que o operador 1 realiza as tarefas do posto 1 e o operador 2 realiza as tarefas do posto 2,3 e 4 e os restantes operadores realizam as tarefas previamente atribuídas às respetivas estações de trabalho.

Os mercados cada vez mais exigem produtos customizados o que obriga as empresas a aumentarem a sua oferta, e assim, são obrigadas a aumentar o seu gama de produtos levando a grandes desafios na área produtiva. Assim as empresas necessitam de sistemas produtivos flexíveis, capazes de produzir qualquer tipo de produto, mas sem aumentar os custos produtivos. Para sistemas flexíveis, as linhas de montagem de modelo misto ou multimodelo são os tipos que mais se adequam.

Nos sistemas de multimodelo as linhas de montagem mudam consoante o tipo de produto a ser produzido, isto é, as tarefas e ferramentas de apoio necessárias para a produção de um modelo são reajustadas para a produção de um modelo diferente. Este reajustamento de tarefas e ferramentas é chamado de *setup* uma vez que se trata de um conjunto de tarefas, consumidoras de tempo, necessárias para que a linha de montagem deixe de produzir o produto A e possa, então, produzir o produto B.

Quando as empresas necessitam de modelos totalmente flexíveis, será necessário implementar o modelo misto uma vez que, nessa situação, os tempos de *setup* são quase inexistentes ou nulos o que permite a produção de pequenos lotes (em alguns casos, lote de produção de uma unidade) e assim ajustar facilmente a produção à procura do cliente.

Estes dois últimos modelos abordados exigem *layouts* mais flexíveis do que uma linha de montagem disposta ao longo de uma reta. Sendo assim, os *layouts* em que o início e fim da linha de montagem se aproximam sendo que o restante corpo forma um “U” ou um “C” serão a melhor opção devido às seguintes vantagens: (A. S. Simaria, 2006)

- Melhor visualização de todo o processo produtivo;
- Comunicação mais eficiente (permitindo por exemplo uma reação mais rápida em caso de desvios no processo produtivo);
- Melhor distribuição de tarefas pelos operadores (melhorando consequentemente aspetos ergonómicos uma vez que os operadores se movimentam mais vezes deixando de realizar tarefas repetitivas);
- Aumenta o conhecimento dos operadores (uma vez que podem realizar tarefas de diferentes partes do processo).

Ainda é possível obter ganhos significativos em termos de capacidade máxima de número de peças produzidas ou redução de postos de trabalho da linha de montagem devido a uma melhor afetação das tarefas aos operadores.

As Figuras 12 e 13 mostram exemplos de linhas de montagem com *layout* em “U” em “C” que mostram diferentes atribuições de tarefas aos operadores.

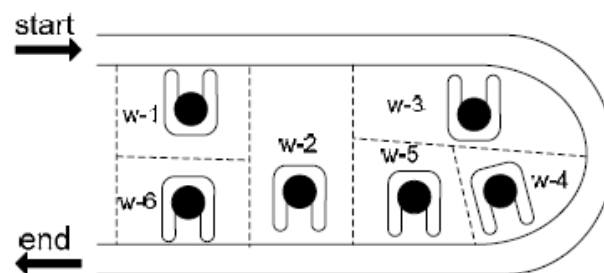


Figura 12 - Exemplo de uma linha de montagem com *layout* em “U” (adaptado de A. S. Simaria, 2006)

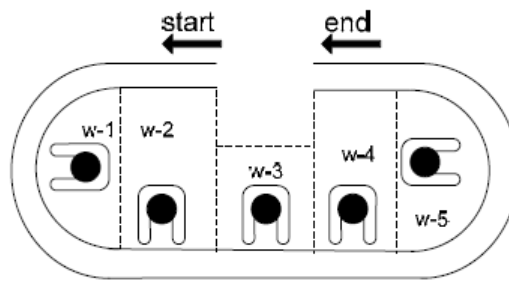


Figura 13 - Exemplo de uma linha de montagem com layout em "C" (adaptado de A. S. Simaria, 2006)

Numa linha de montagem multimodelo fará sentido criar novas linhas de montagem paralelas, sendo cada uma delas capaz de produzir qualquer tipo de modelo da família de produtos. Assim os níveis de produtividade aumentam significativamente, a flexibilidade aumenta na medida em que torna possível a capacidade de resposta à grande variação da procura dos mercados e os riscos de paragens da linha de montagem por avarias ou perdas de capacidade de máquinas e/ou equipamentos reduz significativamente. (A. S. Simaria, 2006)

A maior desvantagem apontada a este tipo de *layouts* é o grande investimento em equipamento para que seja possível criar as linhas paralelas (sendo que será um dos fatores a ter em conta na conceção do sistema produtivo, como iremos ver mais à frente). Para contornar este fator menos favorável no momento de decisão de qual o *layout* a aplicar ao sistema produtivo, existe a possibilidade de duplicar postos de trabalho. Esta decisão é tomada quando o tempo que um produto demora a ser produzido é superior ao intervalo de tempo que o cliente compra um produto (*tack time*). É então escrutinado ao pormenor qual a estação gargalo, estação que possui o maior tempo de ciclo de toda a linha de montagem (entenda-se por tempo de ciclo como ao somatório dos tempos das tarefas atribuídas ao posto/operador) e duplica-se esse posto com o intuito de aumentar a produtividade da linha de montagem. Com esta replicação do(s) posto(s) gargalos, poderá acontecer uma reatribuição das tarefas.

## 2.4 Balanceamento

Com a globalização dos mercados é importante para as empresas manterem-se competitivas para convencer todos os *stakeholders* de que são capazes de conceber produtos ou serviços com a qualidade esperada pelos clientes, criando valor em todas as atividades e ao menor

custo. É neste último fator que as concepções dos sistemas produtivos ganham uma importância elevada ao condicionarem a forma como os recursos são utilizados.

Na concepção das linhas de montagem é importante desenvolver postos de trabalho que permitam ao operador executar as suas operações de montagem no menor tempo possível, nas melhores condições ergonómicas e na qualidade certa. Com estes três objetivos em mente as empresas investem em ferramentas, aparafusadoras elétricas, aparafusadoras com dispensação automática de parafusos, máquinas de dispensação de químicos, gabaritos, máquinas semiautomáticas ou automáticas, entre outros tipos de equipamentos. (Stevenson, 2004)

Nas linhas de montagem com modelo misto ou multimodelo é importante desenvolver as linhas de montagem não tendo apenas em conta os três objetivos referidos no parágrafo anterior, mas também considerando que todos os equipamentos deverão ser concebidos por forma a ser possível a sua utilização em todos os modelos a serem produzidos nessa linha. Assim, as linhas deixarão de ser do tipo multimodelo para se tornarem modelo misto evitando tempos de *setup* que não acrescentam valor ao produto.

O balanceamento de linhas de montagem consiste em alocar todo o trabalho necessário para montar um produto ao longo de uma linha de montagem com base nas restrições existentes (por exemplo, o diagrama de precedências). (Boysen, Flidner e Scholl, 2007) Este processo de balanceamento tem uma importância maior nos casos de desenvolvimento de novas linhas de montagem para obter altos níveis de performance desde o início da sua implementação.

Uma vez que divisão de tarefas ao longo da linha de montagem é realizada de acordo com determinados critérios/objetivos, entre eles o *tack time* do cliente, o rebalanceamento ganha tanta ou mais importância como o balanceamento. No Capítulo III deste documento vai ser possível verificar isso mesmo através de um caso prático.

O Problema de Balanceamento da Linha de Montagem Simples (PBLMS) foi primeiramente formulado por Salveson, em 1955, e consiste na atribuição de tarefas para montar um produto com o objetivo de minimizar o número de estações de trabalho, o tempo de ciclo da linha e assim entregar produtos ao cliente no tempo em que ele procura. Para atingir a função objetivo é necessário ter em conta as restrições, sendo elas as seguintes: (A. S. Simaria, 2006)

- Cada tarefa deverá ser iniciada e finalizada num posto de trabalho, ou seja, é indivisível;
- A sequência de tarefas de montagem deverá seguir de acordo as restrições tecnológicas e físicas (ou seja, deverá seguir o diagrama de precedências);
- Cada estação de trabalho deverá ter condições para realizar todas tarefas;
- Os tempos de processamento das tarefas são conhecidos e são totalmente independentes do posto de trabalho onde possam vir a ser executadas;
- E, por último e importante, a soma de todos os tempos de processamento das tarefas alocadas a um posto nunca poderá ser maior do que o tempo de ciclo (calculado com base na procura do cliente).

Existem dois tipos de PBLMS que surgem: (A. S. Simaria, 2006)

- **PBLMS-I:** para este tipo de problema procura-se encontrar a solução que minimiza o número de estações de trabalho para um dado tempo de ciclo;
- **PBLMS-II:** para este tipo de problema procura-se encontrar a solução que minimiza o tempo de ciclo, para um dado número de estações de trabalho.

Para ambos os tipos de PBLMS a formulação matemática é a mesma variando apenas os seus pressupostos e qual a variável de decisão. O problema do tipo I é usado essencialmente quando é possível ter uma previsão da procura e o tempo de ciclo já é pré-determinado. Os problemas do tipo II são essencialmente formulados quando existe a necessidade de maximizar o rácio de produção, ou seja, quando essencialmente a quantidade que o cliente necessita é elevada e por consequência o tempo de ciclo necessita ser baixo (aplica-se quando a procura do cliente aumenta ou quando uma nova tarefa é adicionada ao processo de montagem).

Como o modelo adotado pela organização onde se realizou o projeto possui linhas de montagem de modelo misto temos que ter em conta ainda os seguintes aspetos (inerentes ao tipo de modelo usado): (A. S. Simaria, 2006)

- Pelo menos dois tipos diferentes de modelos de produtos, ou mais, podem ser montados na mesma linha de montagem;

- Cada modelo de produto possui o seu próprio gráfico de precedências, mas estes gráficos podem ser combinados por forma a obter um único gráfico de precedências;
- O tempo necessário para realizar cada uma das tarefas pode variar consoante o modelo de produto;
- As estações de trabalho são flexíveis o suficiente para executarem as tarefas dos diferentes modelos de produtos;
- Cada modelo de produto possui a sua própria previsão de procura e consequentemente o seu próprio tempo de ciclo.

Segundo A. S. Simaria (2006) existem dois tipos de métodos a usar para obter a melhor solução nos problemas de balanceamento da linha de montagem, sendo eles os métodos de otimização e os métodos heurísticos.

A primeira abordagem passa pela utilização do método *branch-and-bound* ou da programação dinâmica. A grande desvantagem utilizar dessas abordagens, prende-se com o tempo elevado necessário para obter a solução ótima em problemas de dimensão elevada. Este tipo de métodos normalmente é usado para PBLMS-I sendo que, quando a complexidade do problema é elevada, este método já não se torna eficaz.

Alternativamente, os métodos heurísticos são mais eficazes, apesar de não garantirem soluções ótimas, para, nomeadamente, Problemas de Balanceamento de Linhas de Modelo Misto (PBLMM). A aplicação de meta-heurísticas como Algoritmos Genéticos, *Simulated Annealing*, GRASP ou Colónia de Formigas, que através de escolhas aleatórias e conhecimento histórico dos resultados anteriormente determinados vão procurando soluções melhores dentro do espaço de pesquisa, é comum e apresenta bons resultados.

Neste trabalho não será pormenorizado em mais detalhe todos estes métodos, mas podem ser melhor aprofundados em A. S. Simaria (2006).

## **2.5 RMS (*Reconfigurable Manufacturing System*)**

Até agora foram apresentados os tipos de sistemas produtivos, assim como os vários tipos de *layout*, também quais os tipos de modelos para as linhas de montagem que as organizações podem adotar para, por fim, poderem resolver o problema de balanceamento das linhas de

montagem por forma a que estas apresentem altos níveis de produtividade e alta rentabilização dos seus recursos.

Tendo sempre em vista os altos níveis de produtividade, rentabilidade dos investimentos (por exemplo em máquinas específicas para determinados processos) e capacidade de resposta rápida e eficaz às mudanças no mercado onde operam surgiu um novo conceito para os sistemas produtivos, *Reconfigurable Manufacturing System*.

A evolução dos mercados, quer na variação do volume da procura quer na rápida evolução tecnológica, obriga as empresas a questionarem os sistemas até então adotados como as linhas de montagem dedicadas a um produto (linhas de modelo unitário) e os sistemas flexíveis de montagem (linhas de montagem modelo misto e multimodelo).

O RMS, através dos seus sistemas flexíveis, permite adaptar a capacidade produtiva nas organizações de acordo com as flutuações dos mercados. Conforme Koren (2011) exemplifica através do esquema seguinte (Figura 14), na maior parte das organizações a previsão inicial de procura dos mercados não coincide com a realidade, obrigando as organizações a terem sistemas produtivos flexíveis e ágeis os suficientes para rapidamente responderem às flutuações.

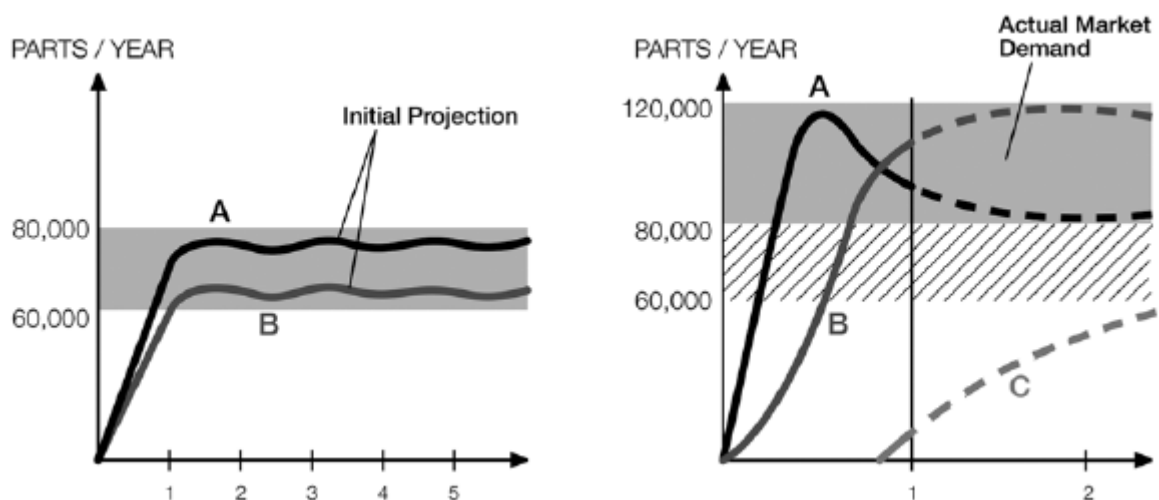


Figura 14 - Exemplificação diferença entre previsão da procura e realidade (fonte: Koren, 2011)

No gráfico do lado esquerdo podemos observar que a previsão de vendas para o Produto A não passaria as 80.000 unidades por cada ano, mas no gráfico do lado direito podemos observar que, na realidade, a meio do primeiro ano de produção do Produto A o mercado já procurava perto das 120.000 unidades.



Mehrabi, Ulsoy e Koren (2000) sugerem que, por exemplo, as máquinas e equipamentos instalados numa linha de montagem, assim como os tapetes de transporte, devem possuir módulos quer em termos de *hardware* quer em termos de *software* capazes de serem reajustados em termos de quantidade rapidamente e de forma fiável.

A flutuação na procura do mercado pode ser um dos motivos para que o sistema produtivo seja reajustado, mas Koren (2011) sugere mais dois fatores importantes:

- Alterações aos produtos existentes ou introdução de novos produtos;
- Falhas no sistema produtivo (devido a, por exemplo, problemas técnicos nos equipamentos).

Num mundo empresarial que está a aproveitar a era *Internet of Things*, pode aproveitar a Indústria 4.0 para melhor tirar partido do sistema RMS. Abdi e Labib (2016) sugerem que um *link* externo à cadeia de abastecimento poderá obter mais rapidamente a informação dos volumes de procura do mercado que, conjugada com a informação obtida dos seus fornecedores, permitirá melhor situar os produtos nos respetivos ciclos de vida.

Este *link* externo vai providenciar mais rapidamente informação de suporte às organizações, para poderem tomar decisões quanto à distribuição dos produtos por famílias e por processos. Assim, por exemplo, num sistema RMS poderá ser formada uma família de produtos através do método de *clusters*, tendo por base variáveis como semelhanças entre produtos e sequências de montagem, para assim melhorar a produtividade e a utilização de máquinas.

A reconfiguração num sistema RMS poderá ser bastante complexa obrigando a várias alterações a equipamentos, máquinas, fluxo de matérias-primas, fluxo de processo, alterações a *layout* e a um reajustamento dos balanceamentos.

A Figura 15 representa a variação da procura de uma determinada família de produto ao longo do seu ciclo de vida. É possível verificar que a sua procura tem um aumento gradual na sua fase de introdução no mercado atingindo o seu pico máximo na fase de maturidade. A capacidade de produção das organizações necessita responder a estas variações na procura e é aqui que o RMS possui um papel preponderante.

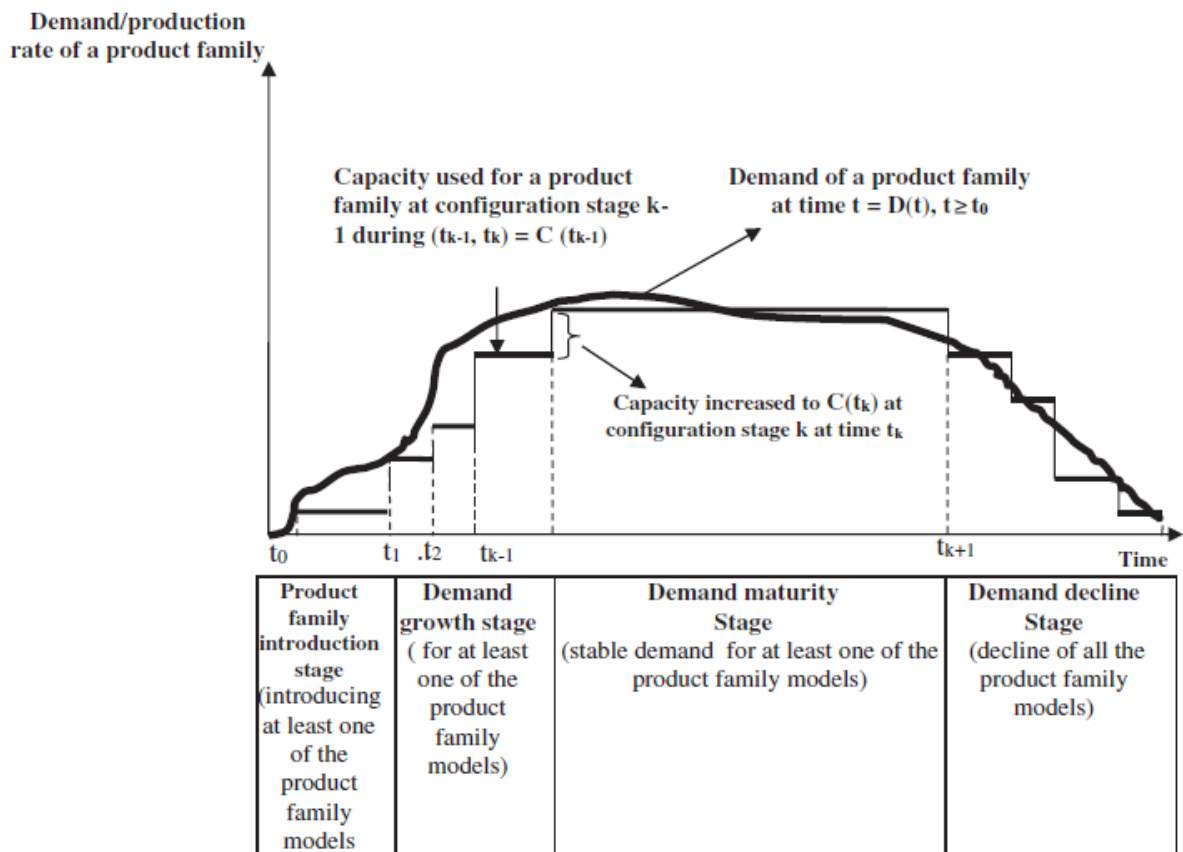


Figura 15 - Variação da procura vs. capacidade produtiva ao longo do ciclo de vida do produto (fonte: Abdi e Labib, 2016)

Para além da função procura, representada no gráfico por uma linha preenchida a negro, podemos verificar a função  $C(t_i)$ ,  $t_m \geq t_k \geq t_0$  e  $m \geq k \geq 0$ , que representa a capacidade no tempo  $t$  do estágio de configuração  $k$ , onde  $m$  é igual ao número total de estágios de configurações ao longo de todo o ciclo de vida da família de produtos.

Como podemos observar na fase de crescimento da família de produtos (em que pelo menos um produto dessa família teve um crescimento) ocorreram 3 estágios de configuração diferentes na função Capacidade. Na fase de declínio do produto, a família de produtos já não satisfaz mais os desejos dos clientes e as novas ofertas de produto dos concorrentes tornam-se mais atrativas. Uma extensão da oferta dentro da mesma família de produtos poderá ser uma opção para manter a procura dos clientes, o que poderá levar a um súbito/gradual declínio na procura dependendo do sucesso da revisão da família de produtos. Esta fase poderá, porventura, ditar o fim do ciclo de vida da família de produtos e

consequentemente a configuração do sistema produtivo poderá tornar-se inoperativo. (Abdi e Labib, 2016)

Tendo várias famílias de produtos no sistema produtivo irá ajudar a fábrica tornar-se sustentável no que toca ao uso contínuo da capacidade produtiva através da substituição de famílias/modelos de produtos ao longo dos seus ciclos de vida. (Abdi e Labib, 2016)

Neste capítulo foram apresentados os temas essenciais para a realização deste projeto, sendo eles: os tipos de processo que as organizações podem optar, quais os *layouts* que mais se adequam de acordo com o tipo de processo, linhas de montagem, balanceamentos das mesmas e de que forma *Reconfigurable Manufacturing Systems* (RMS) são importantes para tornar os sistemas produtivos flexíveis. Este capítulo é um pilar extremamente importante para a compreensão do projeto e de seguida será possível através do caso de estudo aplicar os conceitos.





---

# Capítulo III

---

## CASO DE ESTUDO

### **Conteúdo**

Enquadramento do caso de estudo

Processo produtivo

Escolha da linha de montagem para o projeto

Descrição geral da linha de montagem e seus produtos

*Brainstorming*

Estratégia a adotar

Levantamento e análise da informação

### 3.1 Enquadramento do caso de estudo

A inovação, na indústria eletrónica, em conjugação com o mercado globalizado, obriga as empresas a serem ágeis na resposta aos requisitos dos seus clientes. O mercado atual é inconstante, e se a empresa não possui processos flexíveis para responder a esta instabilidade, a empresa torna-se insustentável a longo prazo.

Um outro fator que pode tornar a empresa insustentável é quando deixar de industrializar novos produtos. Quando a empresa deixa de ser capaz de produzir novos produtos é sinal que deixou de ser competitiva comparativamente com outras fábricas. A Bosch Ovar tem apostado neste campo, para que possa crescer, mas de forma estável e consciente. É nesse sentido que surge a necessidade de melhorar a utilização do espaço na área produtiva.

Neste capítulo será apresentado, primeiramente o processo produtivo da empresa, de seguida explicar-se-á o motivo da escolha da linha de montagem estudada neste projeto assim como a explicação do seu funcionamento.

Seguidamente será apresentado o resultado de um *brainstorming* realizado na empresa sobre o tema de linhas de montagem com produtos em fim de vida e como melhorar a sua produtividade.

E, por fim, passar-se-á às fases de implementação do trabalho desenvolvido, começando pela definição da estratégia a adotar e terminando com o levantamento e análise da informação relevante. Após a escolha da linha de montagem L02 explicar-se-á, assim, a análise realizada para verificar qual a ‘Capacidade Instalada’ *versus* ‘Capacidade Requerida’. Esta análise foi preponderante para a escolha de qual a abordagem/metodologia a adotar para conseguir melhorar, quer ao nível da área ocupada quer ao nível dos recursos alocados a esta linha de montagem. Após uma reunião operacional com o *Value Stream Manager* e o coordenador de BPS foi decidido avançar com uma redução à atual linha de montagem e analisar os diferentes cenários de *layout*. Após a escolha do melhor *layout* é apresentado o resultado final.

De notar que apesar de se tratar de um caso de estudo real, os valores apresentados são fictícios, para salvaguardar os interesses da Bosch Security Systems de Ovar.

### 3.2 Processo produtivo

Antes de iniciar o caso prático é importante explicar o fluxo de materiais e de informação da Bosch Ovar. A fábrica está dividida em quatro *Value Streams* (cadeia de valor), e o que os diferencia é o tipo de área de negócio a que os produtos pertencem e/ou a aplicação a que se destinam. Cada *Value Stream* possui um *Value Stream Manager* que é responsável por gerir a cadeia de valor correspondente, desde os projetos de desenvolvimento de fornecedores a projetos de melhoria no chão de fábrica, tendo sempre em conta os *Key Performance Indicators* (KPIs) e todos os *inputs* provenientes dos *stakeholders* (como por exemplo os colaboradores). A Figura 16 representa o fluxo de materiais e de informação dos *Value Streams* da Bosch de Ovar.

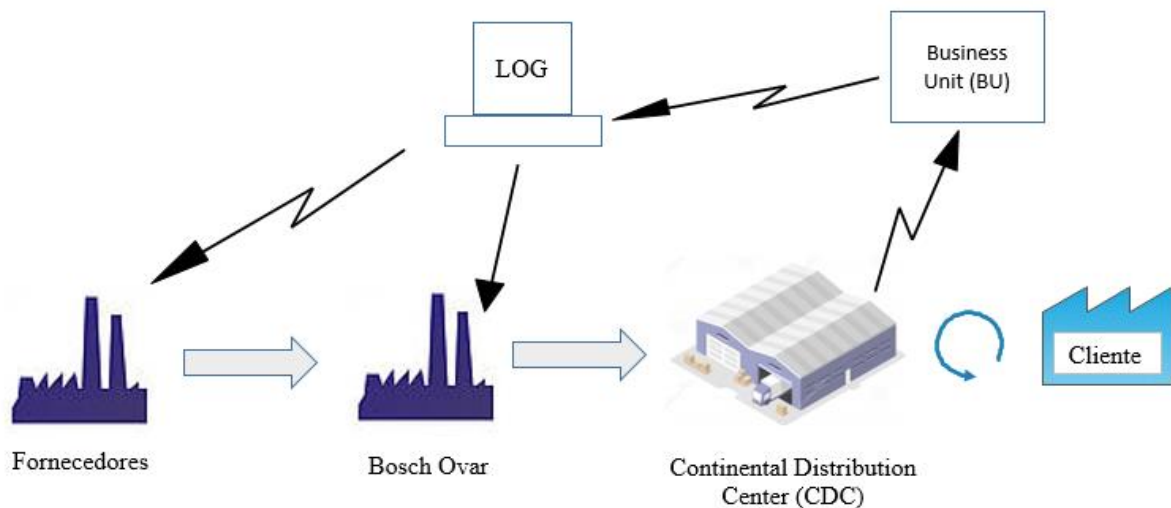


Figura 16 - Fluxo de materiais e de informação na Bosch Ovar

Como podemos observar tudo se despoleta quando o cliente (que poderá ser uma outra fábrica do grupo Bosch), requisita produtos do Centro de Distribuição Continental (CDC). Estes CDCs estão distribuídos pelos continentes Americano, Europeu e Asiático, que possuem como principal função armazenar os produtos finais enviados pelas fábricas do grupo para posteriormente enviar para o cliente final na respetiva área geográfica (o CDC situado no continente europeu fará a distribuição dos produtos também para o continente africano). Nesse momento é enviada a informação sobre *stocks* para a Business Unit que coleta esses dados e, mensalmente, envia uma previsão de vendas para o departamento de Logística da Bosch de Ovar que, por sua vez, envia essa informação para os fornecedores e chão de fábrica.



Cada *Value Stream* possui o seu portfólio de produtos que, consoante fatores como: tempo de ciclo da família de produtos, processo de montagem, comunalidade de matérias-primas, tecnologia utilizada, etc., são distribuídos pelas linhas de montagem. Cada linha de montagem é considerada um *Pacemaker* pois, uma vez que a fábrica funciona num sistema *Pull*, serão as linhas de montagem a definir a cadência/frequência de produção na fábrica.

A Figura 17 representa o fluxo de matérias-primas e de informação da linha de montagem L02 FlexidomeXT (linha que será analisada com maior profundidade mais à frente).

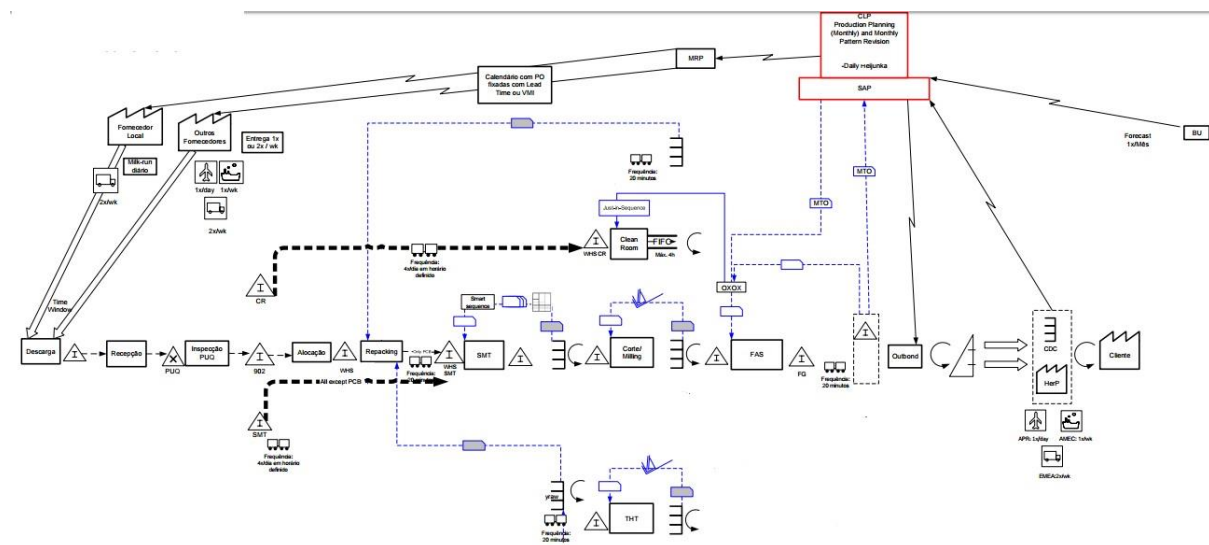


Figura 17 - Value Stream Map Pacemaker L02

Todo o processo é iniciado no Armazém onde se encontram as matérias-primas e o supermercado de produto acabado. Quando é enviado um produto ou conjunto de produtos da fábrica para os CDCs, o colaborador do processo *Outbound* (processo que consiste em retirar do supermercado e enviar para o CDC as encomendas dos clientes) envia para o *Pacemaker* essa informação através dos cartões *Kanban* (este processo só não acontece para os produtos que são considerados *Make-to-Order*, em que os cartões são recolhidos diretamente do supermercado do armazém pelo planeador do *pacemaker*). Estes cartões são colocados na *Heijunka* (caixa de nivelamento, uma ferramenta visual e prática que indica num espaço temporal de três dias, que produtos e em que janela horária, a linha de montagem deve montar, Figura 18) e aguardarem planeamento.



Figura 18- Exemplo de uma Heijunka Board

No dia seguinte o planeador do departamento de logística, juntamente com o chefe de linha, realoca este cartão numa janela de produção, tendo em conta as restantes necessidades produtivas no *Planned Operation Time* (POT que corresponde ao tempo que uma linha de montagem possui para produzir os produtos a ela atribuídos). A *Point of Use Provider* (PoUP) é responsável por preparar todas as matérias-primas necessárias para a linha de montagem, possuindo ciclos de abastecimento de 20 minutos. Nestes ciclos a PoUP verifica na *Heijunka* se existe uma nova família de produtos prestes a ser produzida, sendo um cartão de *setup* o sinal visual de que necessita para começar a preparar todas as matérias-primas necessárias para a linha de montagem produzir a próxima família de produtos.

Nesta preparação a PoUP necessita verificar se as matérias-primas se encontram nos supermercados circundantes à linha ou se necessita efetuar um pedido de abastecimento de material ao armazém (sistema *Just in Sequence* em que as matérias-primas não possuem localização nos supermercados junto da linha de montagem e são abastecidos diretamente do armazém para a linha). Para além destes materiais, em algumas famílias de produtos, é

necessário fornecer à linha sub-montagens provenientes dos fornecedores internos, que neste exemplo são:

- SMT (*Surface-Mount Technology*): fornecedor de sub-montagens das placas com os respetivos componentes elétricos (*Printed Circuit Boards Assembly*);
- Clean Room: fornecedor de sub-montagens dos blocos óticos para as câmaras de vigilância que são montados num ambiente com temperatura, humidade e níveis de partículas poluentes controlado;
- THT (*Through-hole technology*): fornecedor de sub-montagens de PCBA com componentes elétricos que possuem tecnologia THT e não podem ser soldados na área de SMT.

Com os fornecedores internos e armazém o fluxo de materiais e de informação é controlado com cartões *kanban* e no sistema contentor-cheio/contentor-vazio, ou seja, só quando a linha de montagem consome a quantidade total da matéria que se encontra no contentor é que é enviado aos fornecedores o pedido de abastecimento, sendo que estes abastecem o material e quantidade definidos no cartão *kanban* que se encontra no contentor.

Após as matérias-primas estarem todas disponíveis e a linha de montagem ter finalizado o último produto anterior, é iniciado o *change-over* (atividade que consiste em retirar todas as matérias-primas não comuns com o próximo produto a ser produzido, dispor as novas matérias-primas pelos postos, trocar ferramentas de auxílio e gabaritos, e efetuar a mudança de *software* e *hardware* nos testes).

Após a linha de montagem finalizar a ordem de produção, os produtos são enviados para o supermercado de produto acabado, através do *Milk-Run* (sistema de transporte que em ciclos de 20 em 20 minutos percorre as linhas de montagem que lhes são atribuídas, efetua o transporte de matéria-prima e de produto acabado entre armazém e linhas de montagem).

Após a explicação dos processos que tornam possível o máximo de rendimento do *pacemaker*, torna-se importante perceber o processo de escolha da linha de montagem analisada assim como funcionamento da mesma e dos processos inerentes à montagem dos produtos.

### 3.3 Escolha da linha de montagem para o projeto

Como já foi descrito nos capítulos anteriores, a necessidade deste projeto surge num momento em que a Bosch Ovar aumenta o seu portfólio de produtos e necessita de espaço em chão de fábrica para ser capaz de construir novas linhas de produção. Após um *workshop* de *Value Stream Planning* (*workshop* em que uma equipa multidisciplinar se junta para analisar o fluxo de matérias e de informação de cada um dos *pacemakers*, com o intuito de identificar potenciais melhorias), verificou-se o tamanho excessivo da linha para a quantidade de operadores a trabalharem nela. Surgiu assim, como uma ação desse *workshop*, analisar o histórico de produção e previsão de procura para os próximos 12 meses, com o intuito de verificar se a capacidade instalada estava subaproveitada. Dessa análise surgiram os seguintes gráficos (Figuras 19 e 20):

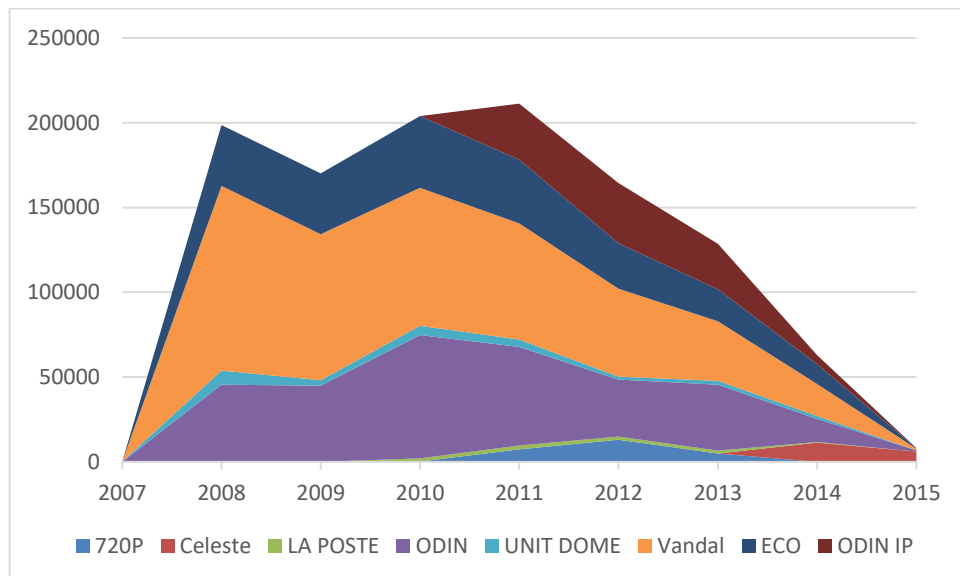


Figura 19 – Histórico de produção da linha de montagem L02

Ao analisar o gráfico, é possível verificar que o ciclo de vida dos produtos que são montados na linha L02, começaram nitidamente a entrar numa fase de declínio a partir do ano de 2012. Pequenas alterações à disposição dos postos foram efetuadas no passado, mas apenas por motivos de melhoria do balanceamento dos operadores.

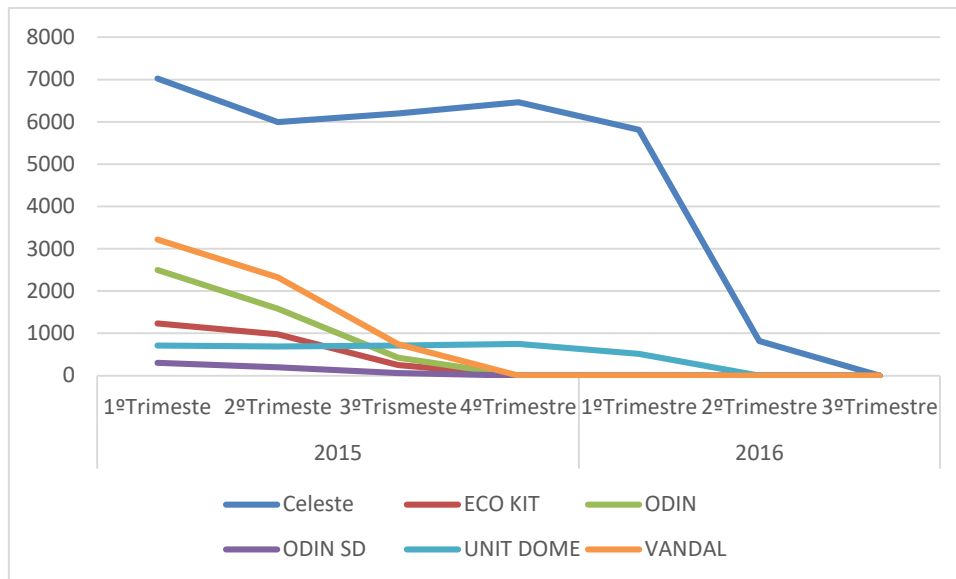


Figura 20 - Previsão da procura da linha de montagem L02

Olhando para a Figura 20 é ainda possível verificar que, para além da redução da família de produtos, a procura prevista seria drasticamente inferior aos requisitos dos clientes em anos anteriores.

No contexto do problema em análise é importante realçar a realização de um *brainstorming* cujo o objetivo era claro: como melhorar a produtividade de linhas de montagem com produtos em fim de vida (produtos em *End-of-life*).

### 3.4 Descrição geral da linha de montagem e seus produtos

A linha L02 FlexidomeXT atualmente alberga sete famílias de produtos, sendo elas designadas por:

- Eco KIT;
- Vandal e Vandal KIT;
- Odin e Odin KIT;
- Odin SD e Odin SD KIT;
- Unit Dome;
- La poste e La poste KIT;

- Celeste.

As câmaras em si são muito idênticas em termos de aspeto físico, o que as faz distinguir umas das outras é o tipo de processador de imagem que incorporam, as lentes que possuem diferentes distâncias focais, se possuem ou não a tecnologia *High Dynamic Range* (tecnologia que permite obter imagens nítidas mesmo quando uma fonte de luz ilumina a área de foco ou até mesmo em áreas mais escuras Wikipedia, 2015), se possuem memória descartável (armazenamento através de cartões SD), se são antivandalismo e se possuem ligação via Internet. A diferente combinação destes componentes dá origem a 119 produtos.

Na Figura 21 encontra-se a disposição dos postos da linha e o espaço de área produtiva que esta ocupava. Todas as câmaras passam por um processo de soldadura das placas de alimentação (Posto 1), teste das placas com tecnologia IP (Posto IP), teste funcional das placas de alimentação (Posto 2), soldadura das placas processadoras (Posto 3), teste funcional das mesmas (Posto 4 e 5), montagem (Posto 6, 7,8 e 9), teste final do produto (Posto 10, 11 e 12), montagem final (Posto 13,14 e 15) e embalagem (Posto 16, 17 e 18).

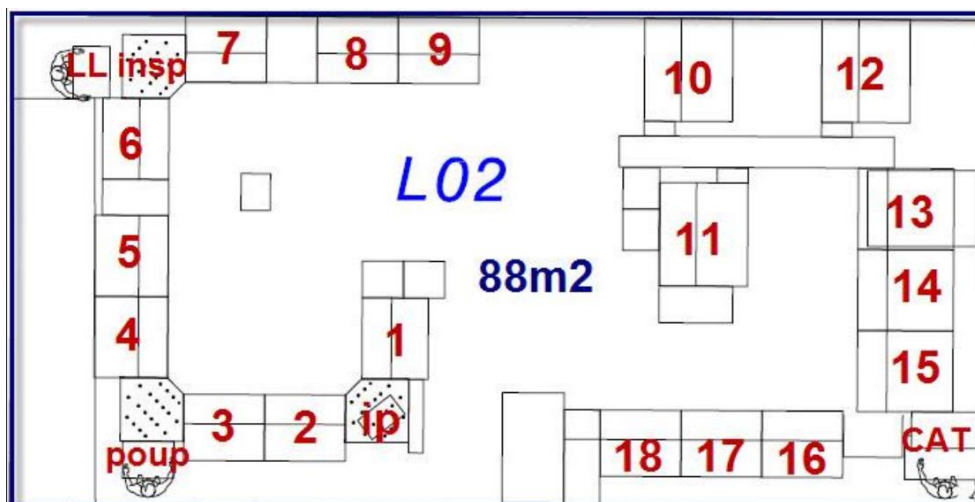


Figura 21- Linha de montagem L02

Devido aos elevados padrões de qualidade pelo qual se rege a empresa, as placas que passam pelos diferentes testes funcionais, são testadas a 100%, assim como as câmaras após o processo de montagem. É ainda realizada uma análise CAT (*Customer Assurance Test*) a 5% da produção diária, em que o produto é testado como se do cliente final se tratasse.

### 3.5 Brainstorming

Este *workshop* teve como participantes o coordenador do *Bosch Production System*, os responsáveis dos diferentes *Value Streams* da empresa, a responsável do departamento de Engenharia Industrial, o responsável por projetos de melhoria contínua nas diferentes cadeias de valor, para além do autor do presente documento, no papel de organizador e elemento do departamento de engenharia industrial. Em seguida poderão ser observadas algumas imagens do resultado do *workshop*.

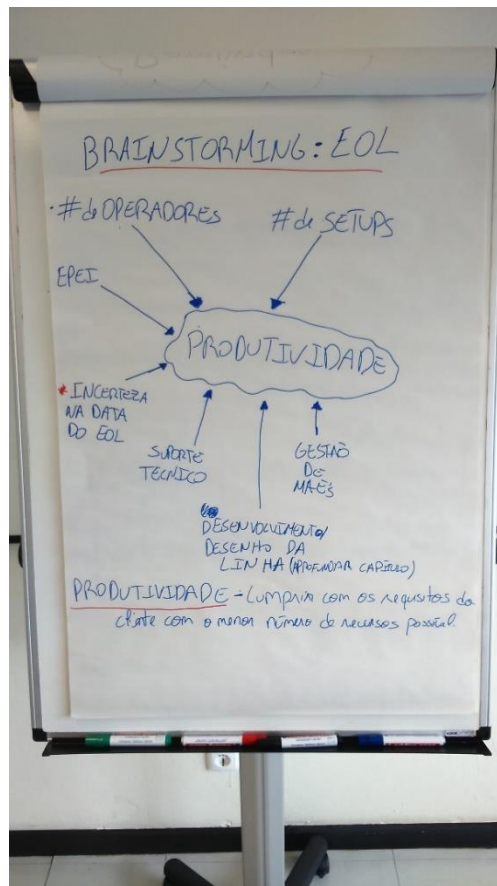


Figura 22 - Primeiro metaplan do workshop

Na Figura 22 é importante realçar que se começou por definir o que é produtividade e quais os fatores que a influenciam. Para todos os elementos participantes, de forma simples e direta, produtividade corresponde a cumprir com os requisitos dos clientes com o menor número de recursos possível, sendo que os fatores que influenciam a mesma são:



- Número de operadores, para uma dada família de produtos o número de operadores com o qual se obtém o melhor balanceamento poderá ser diferente para as restantes famílias produzidas na mesma linha de montagem;
- Número de *setups* que uma linha de montagem executa ao longo, por exemplo, de um dia de produção;
- *Every Part Every Interval* (EPEI), de quanto em quanto tempo é que um produto é produzido;
- Suporte Técnico, em situações de perdas de desempenho por parte de máquinas e equipamentos;
- Gestão de Equipamentos de Teste, de uma forma geral quanto mais partilhados forem os equipamentos de teste entre os produtos montados na linha, mais fácil e rápido será o *setup* entre famílias de produtos;
- Alterações do *layout* da linha de montagem.

Foram analisados os fatores e possíveis soluções que todos os elementos acharam pertinentes e capazes de ser discutidos no âmbito deste projeto, como podemos ver nos exemplos demonstrados nas imagens seguintes (Figuras 23, 24 e 25).

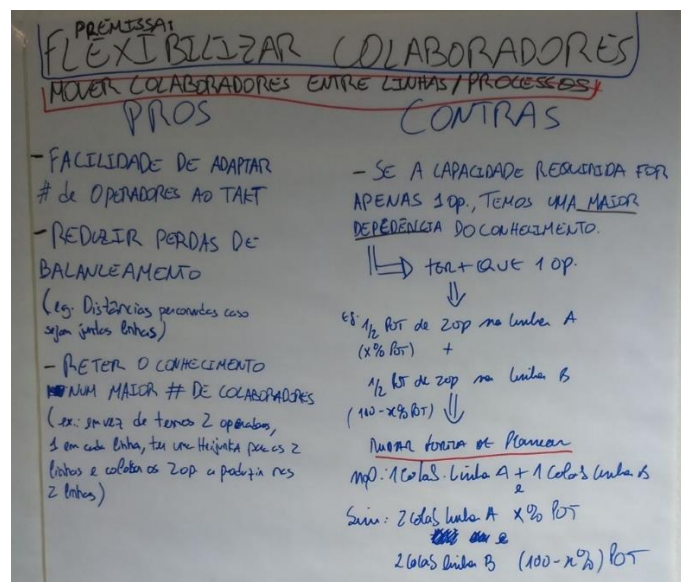


Figura 23 - Análise da solução "Mover colaboradores entre linhas/processos"



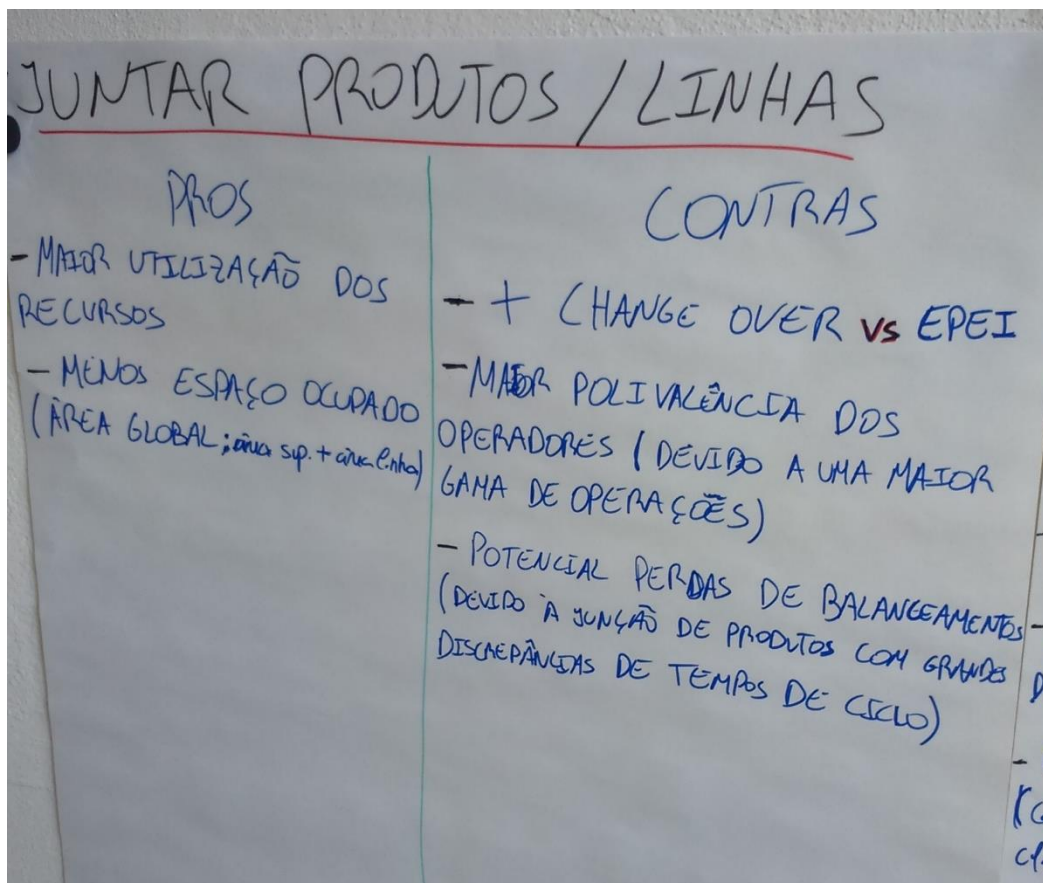


Figura 24 - Análise da solução "Juntar produtos/linhas"

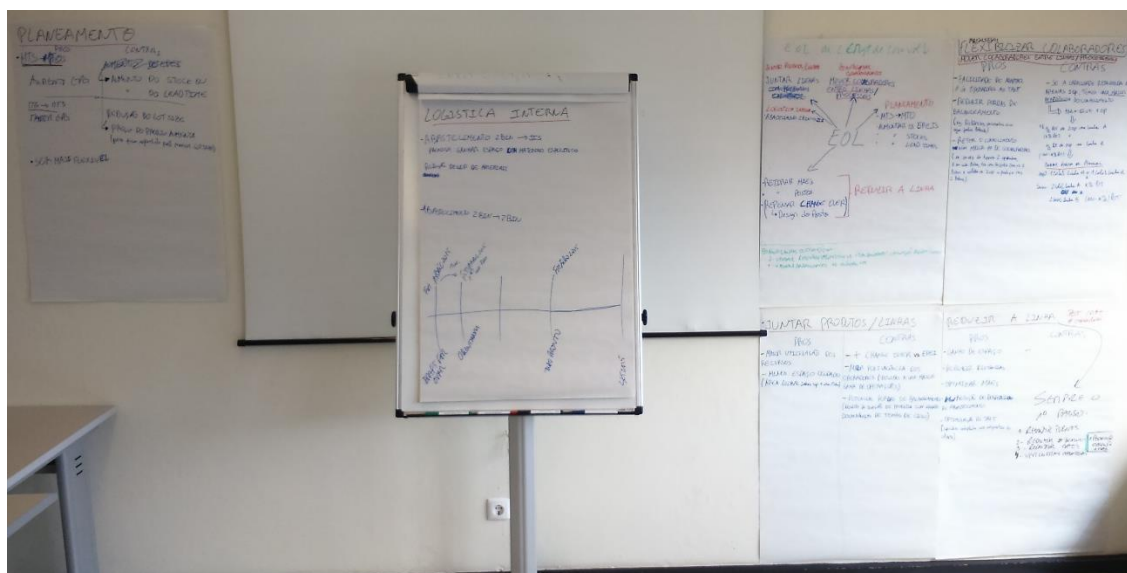


Figura 25 - Resultado final com todas as análises discutidas

O workshop foi bastante proveitoso e o seu resultado final consistiu na elaboração que se encontra na tabela do Anexo I, que veio servir de elemento de apoio à decisão sobre qual

estratégia a adotar para melhorar as linhas de montagem com produtos no final do seu ciclo de vida.

### **3.6 Estratégia a adotar**

Após a identificação da linha sobre o qual se torna necessária uma ação de melhoria, o próximo passo foi escolher qual a melhor estratégia a adotar tendo em conta as possibilidades analisados no *brainstorming*.

A primeira estratégia a adotar passaria por reduzir o número de turnos ou pessoas a laborar. Esta estratégia seria a mais lógica na medida em que não necessita de ações que envolvam investimento em recursos e era de rápida implementação (apenas neste caso específico uma vez que a empresa possui uma força laboral composta maioritariamente por trabalho temporário, o que permite à empresa reduzir ou aumentar o seu número de colaboradores de uma forma rápida e sem custos extra). No entanto, foi uma opção descartada pois já tinha sido feito o ajuste de recursos (operadores e turnos) de acordo com a procura. Por outro lado, não ia de encontro aos principais objetivos do projeto, libertar espaço e melhorar o balanceamento da linha.

Tendo por base o objetivo de melhorar a utilização do espaço no chão de fábrica, as estratégias “Repensar *Changeover*”, “Alterar Forma de Planeamento” e “Flexibilizar Colaboradores” ficam automaticamente excluídas. Sobram as restantes estratégias tais como “Reduzir a Atual Linha”, “Juntar Produtos/Linhas”, “Alterar Logística Interna” e “*Layout Adaptativo*”

Na estratégia “Alterar Logística Interna”, a ação passaria por mudar o sistema atual de abastecimento de matéria-prima da linha de montagem, sistema contentor cheio-contentor vazio, para um sistema *Just In Sequence*. Esta ação iria permitir libertar apenas o espaço à volta da linha de montagem que era, e é, ocupado por supermercados de matéria-prima, mas não afetaria a linha de montagem em si. Numa indústria em que a procura do cliente não é constante e a variedade e produtos é tão grande, o sistema *Just In Sequence* iria trazer potenciais problemas como a perda de flexibilidade na resposta a desvios de produção (aumento do tempo de entrega dos produtos ao cliente), aumento de recursos na área do armazém para tarefas de abastecimento de matérias-primas e potencial aumento de paragens de produção por falta de matéria-prima. Portanto o benefício versus potenciais riscos para a

linha de montagem, e consequentemente, perda na capacidade de resposta aos requisitos de cliente, não justificaria tal ação.

A criação do “*Layout adaptativo*” foi um tema levantado pelo coordenador de BPS e que iria levar a um novo conceito de disposição dos postos de trabalho no *layout* na linha de montagem. Esta estratégia passaria por tornar os postos móveis e flexíveis o suficiente para que fosse possível adaptar o *layout* da linha de montagem consoante a família de produtos que se iria produzir. Por exemplo, se para a família de produtos A, for necessário utilizar todos os postos disponíveis na linha de montagem, mas para a família de produtos B forem necessários metade do número de postos, estes deveriam ser flexíveis e moveis o suficiente para conseguir retirar da linha de montagem os postos não necessários e compactá-los num local definido. No entanto o potencial de ganho de área total do chão de fábrica seria reduzido, aliado ao facto de um possível aumento no tempo de *setup* e ainda a um grande investimento de recursos na alteração das infraestruturas atuais levou a que a estratégia de tornar o *layout* adaptativo fosse excluída.

A estratégia “Juntar Produtos/Linhas de Montagem” foi bastante discutida, pois os potenciais ganhos resultantes destas ações seriam bastante promissores. Para avançar para esta estratégia uma série de premissas teriam de ser cumpridas, sendo a principal delas, a de que, quando identificadas as duas linhas de montagem a juntar, estas deveriam ter tempos de produção total (*Troughput Time*, TPT) e tempos de ciclo dos respetivos gargalos, iguais ou muito próximos. Esta premissa é de extrema importância, na medida em que se juntarmos a linha de montagem 1 que possui a família A com um TPT 600 segundos, com a linha de montagem 2 que possui a família B com um TPT de 1000 segundos, esta situação causará ineficiência na linha pois quando for produzida a família A serão necessários 3 operadores, mas quando produzirem a família B apenas necessitarão de 5 operadores. A segunda premissa, é que deverão existir algumas semelhanças nas matérias-primas utilizadas pelas diferentes famílias de produtos, caso contrário o tempo de *changeover* irá ser maior, consequentemente menos POT estará disponível para produção, e a área de supermercados à volta da linha de montagem ocupará uma área igual ou superior à própria linha em si. Adicionalmente, reduzir a frequência de produção (aumentar EPEI) não é opção pelo impacto no aumento de tempo de entrega dos produtos ao cliente.

A terceira premissa a ter em conta, será a possibilidade de partilha de equipamentos. Este é um fator muito importante, pois, se a partilha de equipamentos não for possível, a linha de montagem terá de ser capaz de albergar todos os equipamentos específicos de cada família de produtos, o que poderá influenciar negativamente o tamanho da linha, prejudicando assim o balanceamento dos operadores, uma vez que, quanto maior o número de equipamentos específicos, maior terá de ser o tamanho da linha e, conseqüentemente, maior a distância a percorrer pelos operadores quando estão a produzir um produto que, por exemplo, apenas utiliza 2 equipamentos dos 6 instalados na linha de montagem.

A única linha de montagem potencial para a junção com a linha L02, era a linha L06, pois também possuía produtos que já se encontravam na fase de declínio (conforme podemos perceber na Figura 26 e os tempos de ciclo das suas famílias de produtos aproximavam-se dos tempos da família de produtos da L02.

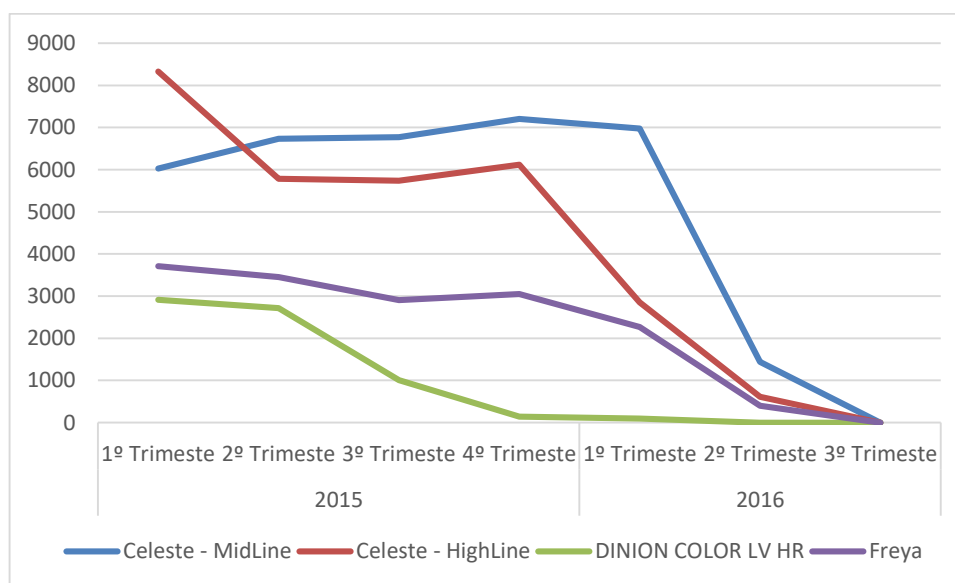


Figura 26 - Previsão da procura da linha de montagem L06

No entanto as premissas de partilha de matérias-primas e de equipamentos não se verificavam. Ou seja, a área ocupada por supermercados de matéria-prima iria ser de 17 m<sup>2</sup> e a linha de montagem teria que comportar os vários equipamentos específicos (12 equipamentos) o que não traria resultados vantajosos para o objetivo de melhorar o balanceamento dos operadores e em relação ao próprio espaço ocupado pela linha.

Foi então decidido avançar com a redução da atual linha de montagem. Esta estratégia iria resultar numa redução do espaço ocupado e no melhoramento do balanceamento dos

operadores, uma vez que o *layout* da linha de montagem tinha-se mantido inalterado desde a fase de maturidade dos seus produtos. Para se ter uma perceção da situação, já chegaram a estar alocados quinze operadores à linha de montagem, o que equivalia a quase um operador por posto (data em que os requisitos de cliente eram bastante superiores aos atuais), quando nesta fase eram necessários apenas cerca de 6 operadores, ou seja, cada operador realizava as operações de 3 postos.

### **3.7 Levantamento e análise da informação**

Foi identificado à partida, como um dos fatores que contribuía para a dimensão do espaço ocupado por esta linha de montagem, a existência do bloco ocupado pelos postos 10, 11 e 12 (testes finais). Estes testes eram alimentados por um *conveyor* que possuía um sistema pneumático que geria a entrada de contentores com câmaras montadas (prontas a testar) em cada posto. O operador que trabalhava no posto 9, quando acabava a sua operação colocava a câmara num contentor de transporte e, posteriormente, o contentor ficava em fila de espera a aguardar o teste. Este bloco de testes limitava muito a capacidade de balancear a distribuição de tarefas pelos operadores, pois dividia fisicamente a linha de montagem em duas partes, em que a primeira parte consistia em montar a câmara, depois surgiam os testes e, na segunda parte, a embalagem. Assim, para a transformar numa linha de montagem mais uniforme, surgiu a ideia de ter apenas um teste final que servisse para todas as famílias de produtos. O passo seguinte passou pela verificação se os tempos de teste final, para cada família de produtos, estava atualizado, pois poderiam ter ocorrido alterações aos produtos que pudessem ter incrementado os tempos de testes e, para tomar uma decisão de corte ou aumento de capacidade, deve-se trabalhar sempre com dados atuais.

Esta verificação de dados torna-se ainda mais importante pois, se o intuito deste projeto é reduzir o tamanho da linha de montagem e, consequentemente, o número de postos, a decisão de eliminar postos de testes que possuem equipamentos, com base em tempos de ciclo não atualizados, é bastante crítica na medida em que, após dismantelar um equipamento, já é praticamente impossível voltar atrás devido à complexidade de construção dos mesmos.

Os tempos foram então medidos, com base numa amostra de 10 unidades por posto (o tamanho da amostra varia se ao longo da medição se se verificasse a existência de uma grande variação). Durante a medição foi ainda pertinente verificar os tempos dos postos

gargalo que não dependiam de equipamentos (ou seja apenas de operações manuais) para verificar se correspondiam aos tempos descritos nas folhas de balanceamento de cada família de produtos.

Após essa medição foi calculado o valor médio e este seria considerado como tempo de ciclo real. Foram então obtidos os seguintes dados:

*Tabela 2 - Tempos de ciclo dos postos da linha de montagem L02 (unidade de medida: segundos)*

	Teste da Placa de Alimentação		Teste da Placa IP		Teste da Placa Processadora		Teste final do Produto		Montagem
Família	#Equip.	Tempo de Ciclo	#Equip.	Tempo de Ciclo	#Equip.	Tempo de Ciclo para cada equip.	#Equip.	Tempo de Ciclo para cada equip.	Tempo de Ciclo (s)
ECO	1	58,7	-	-	2	56,2	3	97,4	61,6
Vandal	1	61,1	-	-	2	71,1	3	92,2	61,6
Unit Dome	1	61,1	-	-	2	49,5	3	103	71
Odin	1	54,4	-	-	2	94,2	3	111,3	58,9
Odin IP	1	54,4	1	152	2	82,2	3	184,6	90
Celeste	-	-	-	-	2	250	3	111,3	141

É possível verificar na Tabela 2 que todas as famílias de produtos possuem tempos de operações gargalo muito próximas umas das outras, exceto a família Celeste, cujo posto gargalo é o posto de “Teste da placa processadora” com 250 segundos de tempo de ciclo.

O próximo passo consistiu em verificar qual a previsão de procura destas famílias de produtos, calcular a capacidade necessária para corresponder aos requisitos e comparar com a capacidade instalada. Para calcular a capacidade será necessário saber qual o posto gargalo por família e a Tabela 3 indica exatamente isso.

Tabela 3 - Postos gargalo por família

Família	Posto	Tempo de Ciclo (s)
ECO	Teste Final	97,4
Vandal	Teste Final	92,2
Unit Dome	Teste Final	103
Odin	Teste Final	111,3
Odin IP	Teste Final	184,6
Celeste	Teste da Placa Processadora	250

Neste caso o tempo selecionado para este cálculo de capacidade foi determinado como se fosse necessário apenas um equipamento de teste por cada posto de teste. Por exemplo, para a família Celeste, apesar de existirem dois equipamentos de teste, o que para efeitos de cálculo de capacidade levaria a que o posto gargalo fosse o posto de montagem pois possui um tempo de ciclo de 141 segundos, isto porque com dois equipamentos de teste o tempo de ciclo do teste passaria a ser de 125 segundos (250 segundos/2 equipamentos de teste), considerou-se que só existia um equipamento de teste logo esse posto seria o gargalo com um tempo de ciclo de 250 segundos).

A tabela no Anexo II indica o *forecast* por família por cada mês e ainda, para cada mês, indica o número de dias disponíveis para trabalhar. Uma vez que estes produtos não possuem sazonalidade foi utilizada a seguinte fórmula para cálculo da previsão de procura por dia:

$$Pd = \frac{Pm}{d}$$

Sendo  $Pd$  corresponde à previsão da procura diária,  $Pm$  a procura mensal da respetiva família de produtos e  $d$  o número de dias úteis produtivos do mês em relação ao qual se pretende apurar a procura diária. A aplicação desta fórmula para todas as famílias de produtos, e no limite temporal utilizado para este projeto, encontra-se no Anexo II.

Para calcular a capacidade necessária total por dia foi utilizada a seguinte fórmula:

$$C(j) = \sum Pd(i,j) \times G(i)$$

Sendo  $C$  a capacidade necessária do mês  $j$ ,  $Pd$  a procura diária da família de produtos  $i$  no mês  $j$  e  $G$  o tempo da operação gargalo da família de produtos  $i$ . A tabela no Anexo III mostra o resultado da aplicação desta fórmula.

Uma vez calculada a capacidade necessária, é necessário calcular o *Net Operation Time* (NetOT), que consiste em subtrair ao POT as possíveis perdas inerentes do processo que, com base no histórico da linha de montagem, se encontram fixados dos 12%. A Tabela 4 reflete qual o POT disponível por turno e o respetivo NetOT.

*Tabela 4 - Total de tempo disponível para produção diária*

Número de turnos	POT / turno (horas)	POT acumulativo (horas)	POT acumulativo (minutos)	NetOT
1	8,08	8,08	484,8	426,6
2	8,75	16,83	1009,8	888,6
3	5	21,83	1309,8	1152,6

Analisando a Tabela 4 é possível verificar que, com apenas 1 turno, estão disponíveis 8,08 horas de tempo para laborar. Já com 3 turnos, e tendo em conta que diferentes turnos possuem diferentes horários de funcionamento, as horas disponíveis são de 21,83 (8,08 horas + 8,75 horas + 5 horas). Como em média a linha de montagem possui perdas (entenda-se por perdas como avarias de equipamentos, falta de disponibilidade de matérias-primas, etc.) na ordem dos 12% do tempo total em que produz, quando trabalha, por exemplo, 2 turnos obtém-se um NetOT de 888,6 minutos (16,83 horas  $\times$  60 minutos  $\times$  0,88).

No gráfico da Figura 27 apresenta-se uma comparação entre a capacidade necessária e o tempo disponível para trabalhar.



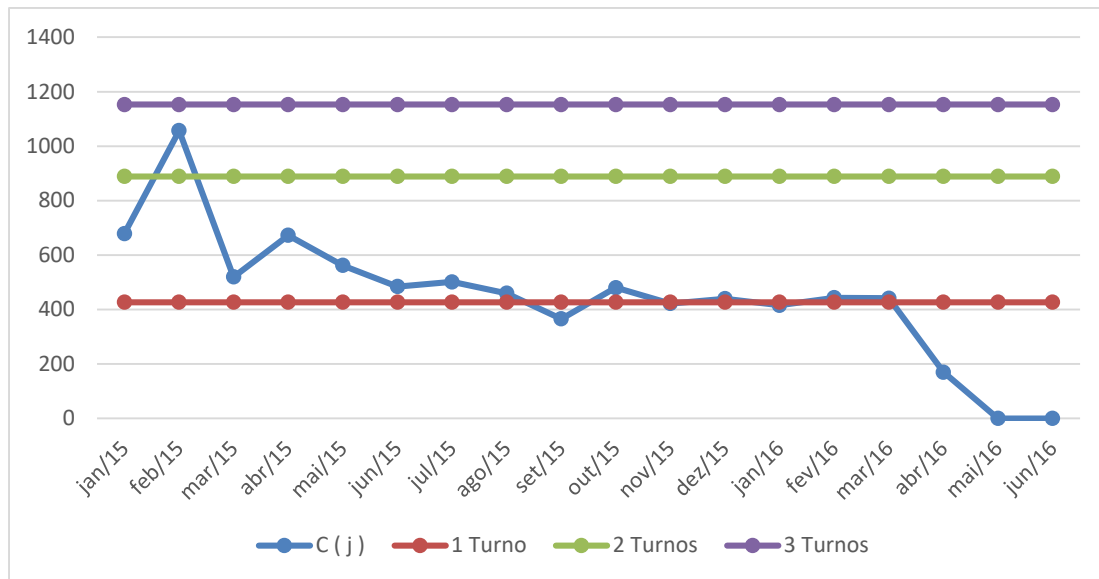


Figura 27 - Capacidade necessária vs. horário de funcionamento disponível

A linha preenchida com a cor azul, representa a função  $C(j)$ , que como explicado em cima corresponde ao número de minutos necessários para produzir o total da previsão da procura das famílias de produtos alocadas a esta linha de montagem do mês  $j$  correspondente. A linha preenchida a vermelho representa o NetOT de 1 turno, enquanto as linhas verdes e roxas representam o NetOT de 2 turnos e 3 turnos, respetivamente. É possível verificar que, com apenas 1 equipamento de teste no posto “Teste da Placa Processadora” e 1 equipamento de teste no “Teste Final”, a linha de montagem L02 poderá perfeitamente ser capaz de cumprir com os requisitos do cliente, isto pois a função  $C(j)$  encontra-se sempre a baixo da linha NetOT 3 turnos.

Laborar a 2 turnos será a opção mais viável uma vez que apenas a fevereiro de 2015 é que o tempo necessário para cumprir com os requisitos dos clientes seria mais alto do que o tempo disponível para produzir com os respetivos 2 turnos. Neste caso, uma vez que o custo de contratar novos colaboradores apenas por um mês seria muito elevado, a opção será distribuir as quantidades em excesso para os restantes meses ou efetuar horas extras de produção para responder a essas necessidades (isto pois a organização possui um sistema de trabalho flexível implementado).

Com este estudo já será possível reduzir dois postos de trabalho do “Teste Final”, consequentemente será possível eliminar o *conveyor* com o sistema de pneumático que

coordenava a entrada de câmaras nos postos de teste e ainda um Posto de “Teste da Placa Processadora”.



*Figura 28- Posto 12 da linha de montagem L02 (Teste final)*

Na Figura 28 podemos visualizar como é o posto de Teste Final (posto número 12) onde, do lado esquerdo se encontra o *conveyor* referido no parágrafo anterior.

Durante o processo de medição dos tempos ainda foi possível verificar que os postos de trabalho número 8, 9, 17 e 18, encontravam-se com poucas matérias-primas disponíveis no posto de trabalho. Assim, como complemento aos ganhos já identificados no parágrafo anterior, investigou-se se, ao somar as tarefas atribuídas ao posto 8 com as tarefas do posto 9 e ao somar as tarefas do posto 17 com as tarefas do posto 18, os tempos obtidos seriam maiores do que o tempo dos postos gargalo de cada uma das famílias de produtos. Ao verificar este ponto em cada um dos balanceamentos das famílias de produtos foi possível concluir que será possível adicionar as tarefas do posto 9 ao posto 8 e as tarefas do posto 18 ao posto 17, sem que estes se tornassem novos postos gargalo, o que brigaria a um novo cálculo de estudo de capacidade.

As junções das tarefas dos postos identificados anteriormente em termos práticos apenas obrigariam à realização de pequenas alterações ao *layout* do posto 8 e 17, para que fosse possível receber as matérias-primas que se encontravam nos postos a jusante e alguns equipamentos de auxílio à montagem dos produtos (como gabaritos e aparafusadoras).

Até este ponto da análise já se tinha verificado que seria possível retirar cinco postos à atual linha de montagem L02: 1 posto “Teste da placa processadora”, o posto 9, 2 postos “Teste Final” e o posto 18. Esta solução, apesar de reduzir a capacidade máxima da linha, não iria prejudicar as entregas ao cliente uma vez que as famílias de produtos nela alocada se encontravam na fase de declínio dos respetivos ciclos de vida.

Como foi referido no capítulo 3.4 em que descreve o processo produtivo da linha, os postos 4 e 5 (Figura 29) são os “Testes de placas processadoras” e, de acordo com o cálculo efetuado até ao momento, é possível retirar um deles.



*Figura 29 - Postos 4 e 5 da linha de montagem L02 (Teste das placas processadoras)*

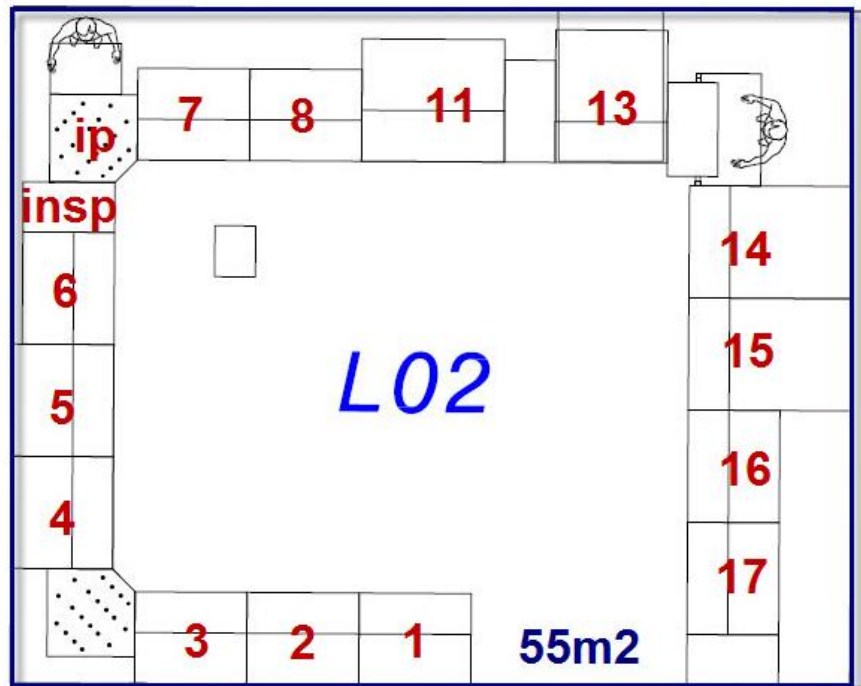
Na realidade, como já vinha sendo habitual nas últimas ordens de produção, os operadores acabavam por não utilizar um deles para evitar despendar tempo na realização do *changeover* do equipamento que consome 8 minutos por equipamento, quando para cumprir com os requisitos do cliente apenas necessitam de um teste a laborar. Na Figura 30 podemos visualizar esses equipamentos que teriam que sofrer *setups*, sempre que se alterasse a família de produtos a produzir.



Figura 30 - Equipamento do posto "Teste da Placa Processadora"

A sugestão foi então fixar num dos postos o equipamento que pertence à família de produtos com maior procura no mercado e que, consequentemente, se iria produzir com maior frequência (neste caso, de acordo com a previsão da procura utilizada no cálculo de capacidade é a família Celeste). Deste modo, seria possível aumentar o tempo útil de produção, aumentando o indicador de produtividade da linha de montagem. Para além desta melhoria, a linha de montagem passou a possuir apenas um equipamento por cada família de produtos e, dado que cada equipamento possuía um carro de apoio ("Carro Setup") para facilitar a mudança de equipamento no teste, o que obriga a reservar espaço na área produtiva para ter estes carros disponíveis, também foi possível reduzir o espaço ocupado por esses carros.

Posto isto, a próxima fase consistiu em imprimir um desenho à escala do atual *layout* da linha de montagem e os respetivos postos e começar a estudar possíveis disposições. Uma das premissas seria escolher um *layout* que implicasse menos mudanças, ou seja, um *layout* que não envolvesse despende muito tempo na sua aplicação. Após algumas tentativas foi possível obter um *layout* que cumpria com os requisitos e que não prejudicasse o balanceamento, ou seja, uma linha onde qualquer operador tivesse uma clara visualização de todo o processo produtivo e que permitisse realizar o balanceamento sem qualquer barreira física (como acontecia antes de se efetuar o projeto nos postos 10, 11 e 12). Na Figura 31 é possível verificar qual foi o *layout* escolhido.



*Figura 31 - Layout futuro da linha de montagem L02*

A numeração dos postos encontra-se de acordo com a numeração do *layout* inicial para que seja perceptível quais os postos que foram retirados, daí que surja a passagem da numeração do posto 8 para o posto 11, por exemplo. Portanto os postos retirados foram os postos 9, 10, 12 e 18.

Em suma estava reunida toda a informação necessária para avançar com a alteração do *layout* da linha de montagem, tendo sido essa alteração implementada em janeiro de 2015. Como podemos observar na Figura 31 a linha final passou a ocupar 55m<sup>2</sup>, o que corresponde a um ganho de 38% (33m<sup>2</sup>) de espaço, comparando com o espaço que a linha de montagem ocupava na área produtiva (88m<sup>2</sup>). Para além do ganho no espaço da área produtiva, foram retirados os equipamentos do “Teste funcional da Placa Processadora”, diminuindo-os para metade, o que implica menos equipamentos aos quais seria necessário realizar manutenções e calibrações, bem como permitiu colocar os atuais ‘Carros de Setup’ com os equipamentos de teste (4 carros) no interior da linha para que fiquem o mais perto possível dos locais de uso evitando assim ficarem fora da linha de montagem como acontecia no *layout* anterior. O maior ganho que se pode realçar prende-se com a diminuição do tamanho de uma linha de montagem, adaptando-a à realidade do mercado, pois a família de produtos no global se encontrava no seu fim do ciclo de vida, libertou-se espaço produtivo que foi utilizado para

acomodar duas novas linhas de produção que albergam à data de hoje novos produtos de áreas de negócio diferente, aumentando o portfólio de produtos sem necessitar investir na expansão da área fabril.









---

# Capítulo IV

---

## CONCLUSÃO

### Conteúdo

Conclusões gerais

Perspetivas de desenvolvimento futuro

## 4.1 Conclusões gerais

O processo de melhoria contínua está enraizado na organização onde se realizou o projeto o que, de certa forma, permite aos seus colaboradores trabalharem de forma metódica, com eficácia e focados em tornarem a empresa competitiva. Assim, todos os colaboradores, desde a gestão de topo até ao chão de fábrica possuem uma abertura para novas ideias e só com uma forma de pensar *Lean* como a existente na Bosch de Ovar é possível manter a empresa competitiva e flexível.

A organização como possui um sistema CIP (*Continuous Improvement Process*) bem definido, permite aos gestores de cada *Value Stream*, a cada *System CIP Cycle* saberem exatamente em que ponto de situação se encontram os seus KPIs e definir quais os projetos que devem ser desenvolvidos para atingir os respetivos indicadores. Estes *System CIP Cycle* realizam-se de 3 em 3 meses, consistindo num *workshop* onde são analisados os fluxos de informação, fluxos de materiais, indicadores de performance e indicadores de cliente de todas as linhas de montagem que fazem parte de cada *Value Stream*.

Não menos importante, nestes *workshops* são tidos em conta também os requisitos do negócio que são definidos anualmente pelos gestores de topo, sendo que, no ano de 2014, um dos requisitos era aumentar o portfólio de produtos. Para isto acontecer de forma sustentável não seria de todo prudente aumentar a área produtiva para poder criar novas linhas de montagem para os novos produtos, outras soluções teriam assim que ser analisadas. Neste contexto, as linhas de montagem com famílias de produtos no fim dos seus ciclos de vida seriam uma oportunidade de melhoria.

No último *System CIP Cycle* do ano de 2014 do *Value Stream* a que pertence a linha de montagem L02, surgiu como ação analisar a possibilidade de reduzir a área ocupada pela mesma. Como primeiro passo foi analisada a previsão da procura de todas as famílias de produtos com o intuito de enquadrar cada uma das famílias de produtos na sua fase do ciclo de vida.

Antes de avançar para o estudo de possíveis soluções foi organizado um *brainstorming* com objetivo de analisar potenciais ideias para melhorar linhas de montagem com produtos em fim de vida. Este *brainstorming* ficou condensado numa tabela resumo onde estão listadas as soluções possíveis a aplicar e onde são analisados os respetivos prós e contras. Após o

*brainstorming*, e considerando a linha em análise, decidiu-se avançar para a redução da linha de montagem atual.

Para avançar com um estudo de capacidade da linha de montagem era importante confirmar os tempos dos postos que consumiam mais tempo nas montagens dos produtos por forma a utilizar dados reais e não teóricos. Após a medição dos tempos foi possível realizar o cálculo de capacidade tendo em conta que a organização poderia laborar até 3 turnos. Comparou-se então o tempo disponível com o tempo necessário para produzir a previsão de quantidades necessárias pelo cliente e verificou-se que apenas com 2 turnos, retirando 4 postos à linha de montagem, seria possível cumprir com os requisitos de cliente.

O próximo passo passou por definir como ficaria o novo *layout* da linha de montagem de acordo com os princípios ergonómicos e do *Bosch Production System* com o intuito de obter o melhor desempenho da linha sem prejudicar os balanceamentos. Um *layout* final foi definido e todas as ações operacionais foram então realizadas obtendo-se um ganho final de área produtiva de 33m<sup>2</sup> (menos 38% da área ocupada pela linha anteriormente), uma redução no número de equipamentos aos quais seria necessário realizar operações de manutenção, eliminaram-se barreiras físicas e as distâncias internas da linha reduziram-se o que permitiu obter uma melhor solução no balanceamento.

A teoria abordada foi de extrema importância para consolidar os conhecimentos e essencialmente perceber qual o estado da arte no mundo académico no que toca a este tema. O desafio em si foi muito grande e enriquecedor na medida e em que permitiu perceber a importância da melhoria contínua no chão de fábrica e a sua influência em toda a cadeia de valor.

## **4.2 Perspetivas de desenvolvimento futuro**

Num mundo industrial cada vez mais competitivo é importante tornar a empresa sustentável, crescer, mas não de uma forma repentina investindo em novos equipamentos, novas tecnologias, novas fábricas sem primeiro verificar internamente onde é possível melhorar e aproveitar os recursos que estão subaproveitados alocando-os a novos projetos.

É cada vez mais importante analisar de forma sistemática o ciclo de vida das famílias dos produtos por forma a avaliar se a capacidade instalada no chão de fábrica é ou não

excedentária e assim realocar recursos. Mas, para isto acontecer, os equipamentos e as estruturas das linhas de montagem, por exemplo, devem cada vez mais ser flexíveis para que, quando ocorra uma realocação de recursos, seja mais rápido e eficaz. Sem dúvida que a nova era da Indústria 4.0 poderá ter o seu papel fulcral.

Será também importante investigar em que momento no tempo as organizações devem analisar os ciclos de vida dos seus produtos, para prever ineficiências ao invés de agir por necessidade. As organizações, para além de identificarem em que momento devem atuar, poderão desenvolver um procedimento *standard* com as várias soluções possíveis a aplicar nestes casos, mas este *standard* nunca poderá ser estático pois nunca devemos limitar a imaginação e criatividade das pessoas que fazem com que as organizações se tornem cada vez mais competitivas.

## Bibliografia

- Abdi, M. Reza, e Ashraf Labib. "RMS capacity utilisation:product family and supply chain." *International Journal of Production Research*, 2016.
- Becker, Christian, e Armin Scholl. "A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing." *European Journal of Operational Research*, 2004: 168 (2006) 694–715.
- Boysen, Nils, Malte Fliedner, e Armin Scholl. "A classification of assembly line balancing problems." *European Journal of Operational Research* 183, 2007: 674–693.
- Chase, Richard B., e Nicholas J. Aquilano. "Production and Operations Management - A Life Cycle Approach." Lisboa: Monitor, 1989.
- Heizer, Jay. "Operations Management, Sustainability and Supply Chain Management". England: Pearson Education Limited, 2014.
- Helo, Petri. "Managing agility and productivity in the electronics industry." *Industrial Management & Data Systems*, Vol.104, 2004: Iss 7 pp. 567 - 577.
- Koren, Yoram. "Design of reconfigurable manufacturing systems." *Journal of Manufacturing Systems*, 2011.
- Mehrabi, M.G., A.G Ulsoy, e Y. Koren. "Recon®gurable manufacturing systems: Key to." *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2000: 403-419.
- Robert Bosch GmbH. *A Bosch em Portugal, 100 anos de Tecnologia para a vida*. Lisboa: Alexandre da Silva, 2011.
- Robert Bosch S.A. *Company history*. 18 de Janeiro de 2015.  
[http://www.bosch.pt/en/pt/our\\_company\\_10/history\\_10/history.html](http://www.bosch.pt/en/pt/our_company_10/history_10/history.html).
- Simaria, A. S., Zanella de Sá, M. e Vilarinho,P.M. "Meeting demand variation using flexible U-shaped assembly lines." *International Journal of Production Research*, 2009: Vol. 47, No. 14,3937–3955.
- Simaria, Ana Sofia. *Assembly line balancing - new perspectives and*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2006.
- Stevenson, William J. *Operations Management*. McGraw-Hill, 2004.
- Wikipedia. *High dynamic range*. 17 de Julho de 2015.  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/High\\_dynamic\\_range](https://pt.wikipedia.org/wiki/High_dynamic_range).







---

# Anexos

---



## Anexo I

Tabela de vantagens e desvantagens na aplicação das estratégias potenciais

Estratégias	Ações	Vantagens	Desvantagens
Reduzir capacidade	Reduzir Turnos/Reduzir Pessoas	Redução nos custos operacionais variáveis (ex.: despesas de luz, ar comprimido, sistemas de climatização); Redução nos custos com colaboradores.	Redução da flexibilidade na resposta a picos de procura; Não reduz o espaço ocupado no chão de fábrica.
Reduzir linha atual	Retirar Testes/Equipamentos/Retirar Postos de Montagem	Redução de espaço; Redução das distâncias percorridas pelos operadores/produtos; Melhoria dos balanceamentos; Adaptação da capacidade à realidade do mercado; Redução do número de equipamentos que necessitem de manutenção.	Aplicação não é imediata; Maior tempo e número de recursos necessários para a sua implementação; Com a redução da respetiva capacidade máxima, reduz-se a capacidade de resposta a picos de procura.
Repensar <i>changeover</i>	Modificar forma de efetuar o <i>changeover</i> entre os vários produtos	Permite libertar o tempo disponível para produção diária.	Não reduz espaço; Grande esforço por parte do pessoal técnico; Necessário investimento em novos equipamentos e tempo na sua implementação; Elevado número de recursos necessários para a sua implementação.

Estratégias	Ações	Vantagens	Desvantagens
Alterar forma de planeamento	MTS -> MTO (passar de um sistema <i>Make to Stock</i> para um sistema <i>Make to Order</i> )	Reduz a frequência de produção; Compacta ordens de produção reduzindo o número de <i>changeovers</i> o que permite libertar tempo disponível para produção de outros produtos	Aumento de <i>Leadtime</i> de entrega
Flexibilizar colaboradores	Mudar colaboradores entre linhas/processos (ex.: quando existem duas linhas com um POT de meio turno em cada, em vez de termos 1 operador por linha, colocar dois operadores a produzirem em ambas as linhas)	Rápida implementação; Solução para mercados com procura sazonal; Agilidade na adaptação das linhas de produção à procura do cliente; Descentralização do conhecimento de montagem dos produtos.	No caso de linhas de produção com várias famílias de produtos, os operadores terão de reter uma grande quantidade de informação o que pode levar a problemas de qualidade. Não existe redução de espaço no chão de fábrica. Não se reduz o número de equipamentos a necessitar de manutenção.

Estratégias	Ações	Vantagens	Desvantagens
Juntar produtos/linhas	Juntar duas linhas de montagem numa só	<p>Maior utilização dos recursos</p> <p>Grande redução do espaço físico ocupado pelas mesmas</p>	<p>Aumenta o número de <i>setups</i> consoante a redução/aumento da frequência de produção;</p> <p>Necessário um esforço adicional em formação e aumento da polivalência dos colaboradores (devido ao aumento da variedade de famílias a produzir);</p> <p>Potenciais problemas de balanceamento devido à junção de produtos com diferentes tempos de ciclo;</p> <p>Exige algum esforço e tempo na sua implementação.</p>
Alterar Logística Interna	Passagem do sistema contentor cheio-contentor vazio, para o sistema <i>Just-in-Sequence</i>	Redução do espaço ocupado pelo inventário de matéria-prima junto da linha de produção	Perda de flexibilidade na resposta da linha de produção a desvios (exemplo de rejeições durante o processo)
<i>Layout</i> adaptativo	Criação de postos de trabalho móveis e adaptáveis a cada família de produtos	<p>Eliminaria distâncias a percorrer durante a montagem dos produtos (pois atualmente todos os postos estão disponíveis no <i>layout</i>, mas nem todos são usados para produzir em cada umas das famílias de produtos);</p> <p>Melhor clareza do processo de montagem.</p>	<p>Grande investimento para remodelação dos postos atuais;</p> <p>Aumento de tempos de <i>setup</i>.</p>

**Anexo II**Tabela de Previsão da Procura por mês para cada família de produtos (em número de unidades) – I

<b>Ano</b>	<b>2015</b>												<b>2016</b>					
<b>Família / Mês</b>	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Celeste	2008	3488	1528	2200	1928	1864	2240	2040	1920	2424	2048	1992	1904	1840	2072	816	0	0
ECO KIT	464	400	368	416	328	232	168	72	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODIN	344	296	272	288	192	136	112	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODIN SD	112	96	96	88	56	56	48	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODIN KIT	608	536	440	456	304	208	184	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIT DOME	280	204	226	270	202	216	268	218	223	271	193	286	219	183	113	0	0	0
VANDAL	224	200	168	152	128	88	88	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VANDAL KIT	992	872	760	816	672	464	408	192	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela de Previsão da Procura por dia para cada família de produtos (em número de unidades) – II

Ano	2015												2016					
Dias Disponíveis	20	18	20	20	20	21	23	21	23	22	21	20	20	18	20	20	20	21
Família / Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Celeste	100	194	76	110	96	89	97	97	83	110	98	100	95	102	104	41	0	0
ECO KIT	23	22	18	21	16	11	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODIN	17	16	14	14	10	6	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODIN SD	6	5	5	4	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODIN KIT	30	30	22	23	15	10	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIT DOME	14	11	11	14	10	10	12	10	10	12	9	14	11	10	6	0	0	0
VANDAL	11	11	8	8	6	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VANDAL KIT	50	48	38	41	34	22	18	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Anexo III

Tabela de Ocupação de Produção por cada dia do mês e por cada família de produtos (em minutos)

Ano	2015												2016					
Família / Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Celeste	418	807	318	458	402	370	406	405	348	459	406	415	397	426	432	170	0	0
ECO KIT	38	36	30	34	27	18	12	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODIN	32	31	25	27	18	12	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODIN SD	17	16	15	14	9	8	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODIN KIT	56	55	41	42	28	18	15	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIT DOME	24	19	19	23	17	18	20	18	17	21	16	25	19	17	10	0	0	0
VANDAL	17	17	13	12	10	6	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VANDAL KIT	76	74	58	63	52	34	27	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total (minutos/cada dia do mês)</b>	<b>679</b>	<b>1057</b>	<b>520</b>	<b>672</b>	<b>562</b>	<b>484</b>	<b>501</b>	<b>459</b>	<b>366</b>	<b>480</b>	<b>422</b>	<b>440</b>	<b>415</b>	<b>443</b>	<b>441</b>	<b>170</b>	<b>0</b>	<b>0</b>



